

Lehrstuhl für  
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik  
der Technischen Universität München

**Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien  
für Lean-Production-Methoden**

**Florian Aull**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Lanza,  
Karlsruher Institut für Technologie

Die Dissertation wurde am 23.05.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 05.07.2012 angenommen.



## Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen.

Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür.

In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

*Gunther Reinhart*

*Michael Zäh*



## Vorwort

Die vorliegende Dissertation wurde begonnen während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München und fand Vollendung während meines Berufslebens.

Für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit, auch über die Zeit am Institut hinaus, danke ich aufrichtig Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh.

Frau Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza, Leiterin des Instituts für Produktionstechnik (*wbk*) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), danke ich für die Übernahme des Koreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit. Ebenfalls danken möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Mein kollegialer und freundschaftlicher Dank gilt allen Mitarbeitern und Studenten des Instituts mit denen ich während der Institutszeit zusammengearbeitet habe und die zur Fertigstellung meiner Arbeit beigetragen haben. Den Herren Dr.-Ing. Patrick Neise und Dr.-Ing. Christian Habicht danke ich für die thematische Einführung in das Thema Lean Production und die Erörterungen zur Ideenfindung der Forschungsfrage. Bei Herrn Dr.-Ing. Wi.-Ing. Niklas Möller bedanke ich mich sehr herzlich für die bereichernden Gespräche am Institut, die neben den Lehre-, Forschungs- und Projektthemen auch alle anderen Themen des Daseins umfassten.

Den beiden Herren Dr.-Ing. Hendrik Schellmann und Dipl.-Ing. Markus Wiedemann sei gedankt für die inhaltlich-kritische Durchsicht meiner Arbeit. Ebenso danke ich Frau Kerstin Heid für die Durchsicht meiner Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, die mein Lebensmittelpunkt ist und den wesentlichen Rückhalt für die Fertigstellung der Arbeit gab. Meinen Eltern Mechthild und Bernd Aull danke ich für die bedingungslose und uneingeschränkte Unterstützung und Förderung meiner Ausbildung. Meiner Frau Dr. med. Katrin Aull danke ich für die geopfert gemeinsame Zeit und den positiven Zuspruch während der langen Zeit der Fertigstellung dieser Arbeit.



*Production is not the application of tools to materials,  
but the application of logic to work.*

Peter F. Drucker,  
The Practice of Management





# Inhaltsverzeichnis

<b>Geleitwort der Herausgeber .....</b>	<b>I</b>
<b>Vorwort .....</b>	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>XV</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bedeutung der Wertschöpfung .....	1
1.2 Ausgangssituation und Motivation .....	2
1.3 Zielsetzung der Arbeit .....	7
1.4 Spezifizierung des Untersuchungsbereiches .....	10
1.4.1 Begriffsdefinitionen .....	10
1.4.2 Eingrenzung des Untersuchungsbereiches.....	14
1.5 Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit .....	14
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>17</b>
2.1 System, Modell und Simulation .....	17
2.1.1 Allgemeines.....	17
2.1.2 Systemtheorie.....	17
2.1.2.1 Stellung der Systemtheorie .....	17
2.1.2.2 Der Begriff <i>System</i> .....	18
2.1.2.3 Die Struktur von Systemen .....	19

2.1.2.4	Komplexität in Systemen.....	21
2.1.3	Modelle .....	22
2.1.3.1	Allgemeines und Zweck .....	22
2.1.3.2	Modellarten.....	23
2.1.4	Simulation und Lernmodelle.....	25
2.2	System Dynamics .....	27
2.2.1	Allgemeine Einführung in System Dynamics .....	27
2.2.2	Grundlagen von System Dynamics.....	28
2.2.3	Historie von System Dynamics.....	29
2.2.4	Systemisches Denken.....	31
2.2.5	Modellierung mit System Dynamics .....	33
2.2.6	Qualitative Modellierung.....	37
2.2.7	Quantitative Modellierung.....	40
2.2.8	Mathematische Grundlagen von System Dynamics .....	42
2.3	Zwischenfazit .....	43
<b>3</b>	<b>Grundlagen von Lean Production .....</b>	<b>45</b>
3.1	Einführung in Lean Production .....	45
3.1.1	Historie von Lean Production .....	45
3.1.2	Toyota-Produktionssystem - TPS .....	46
3.1.3	Retrogrades Kostenprinzip.....	48
3.1.4	Vermeidung von Verschwendung.....	49
3.1.5	Pull-Prinzip .....	50
3.2	Lean-Production-Methoden.....	52

3.2.1	Allgemeine Einführung.....	52
3.2.2	Logistisch orientierte Methoden .....	54
3.2.2.1	Produktion im Fluss .....	54
3.2.2.2	Einzelstückfluss - one piece flow.....	54
3.2.2.3	Flexibles Layout (U-Layout).....	55
3.2.2.4	Synchronisation / Taktzeit.....	56
3.2.2.5	Produktionsnivellierung (Heijunka).....	57
3.2.2.6	Just in Time (JiT) .....	59
3.2.2.7	Kanban .....	60
3.2.3	Mitarbeiterorientierte Methoden .....	62
3.2.3.1	Mehrmaschinenbedienung .....	62
3.2.3.2	Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter.....	63
3.2.3.3	Shojinka.....	63
3.2.4	Qualitätsorientierte Methoden.....	64
3.2.4.1	Jidoka / Autonomation .....	64
3.2.4.2	5S.....	65
3.2.4.3	Standardisierung.....	67
3.2.4.4	Visualisierung.....	68
3.2.4.5	Total Productive Maintenance (TPM) .....	69
3.2.4.6	Verkürzung der Rüstzeiten (SMED).....	72
3.2.4.7	Poka Yoke .....	74
3.2.4.8	Kaizen.....	76
3.3	Zusammenfassung .....	78

<b>4</b>	<b>Stand der Erkenntnisse.....</b>	<b>79</b>
4.1	Allgemeines.....	79
4.2	Lean-Production-Systemgestaltung und Implementierungsvorgehen ....	81
4.2.1	Implementierung als System.....	81
4.2.2	Phasenmodelle .....	88
4.2.3	Weitere Ansätze .....	100
4.3	Zwischenfazit .....	106
<b>5</b>	<b>Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen ....</b>	<b>109</b>
5.1	Zielsystem.....	109
5.1.1	Allgemeine Einführung.....	109
5.1.2	Zielgröße Zeit.....	113
5.1.3	Zielgröße Kosten.....	114
5.1.4	Zielgröße Qualität .....	115
5.2	Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden .....	116
5.2.1	Einführung .....	116
5.2.2	Interdependenzen der Methode „Einzelstückfluss“ .....	118
5.2.3	Interdependenzen der Methode „Flexibles Layout“ .....	121
5.2.4	Interdependenzen der Methode „Produktion im Fluss“ .....	123
5.2.5	Interdependenzen der Methode „Synchronisation“ .....	125
5.2.6	Interdependenzen der Methode „Produktionsnivellierung - Heijunka“ .....	126
5.2.7	Interdependenzen der Methode „Just in time“ .....	129
5.2.8	Interdependenzen der Methode „Kanban“ .....	131

5.2.9	Interdependenzen der Methode „Mehrmaschinenbedienung“ ..	134
5.2.10	Interdependenzen der Methode „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“ .....	136
5.2.11	Interdependenzen der Methode „Shojinka“ .....	137
5.2.12	Interdependenzen der Methode „Autonation“ .....	139
5.2.13	Interdependenzen der Methode „5S“ .....	141
5.2.14	Interdependenzen der Methode „Standardisierung“ .....	142
5.2.15	Interdependenzen der Methode „Visualisierung“ .....	144
5.2.16	Interdependenzen der Methode „TPM“ .....	145
5.2.17	Interdependenzen der Methode „SMED - Verkürzung der Rüstzeiten“ .....	146
5.2.18	Interdependenzen der Methode „Poka Yoke“ .....	148
5.2.19	Interdependenzen der Methode „Kaizen“ .....	150
5.2.20	Zusammenfassung der Literaturrecherche .....	152
5.3	Experteninterview - Interdependenzen zwischen Lean-Production- Methoden .....	154
5.4	Zwischenfazit.....	157
<b>6</b>	<b>Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden....</b>	<b>159</b>
6.1	Allgemeine Einführung .....	159
6.1.1	Basis eines Simulationsmodells .....	159
6.1.2	Anforderungen an das Simulationsmodell .....	159
6.2	Modellbeschreibung .....	160
6.3	Modellstruktur für Methoden .....	161
6.4	Modellstruktur für die Veränderung der Zielgrößen .....	163

## Inhaltsverzeichnis

---

6.4.1	Allgemeines .....	163
6.4.2	Teilmodell zur Simulation der Qualitätsveränderung.....	163
6.4.3	Teilmodelle zur Simulation der Zielgrößen Zeit und Kosten ...	165
6.5	Simulationsablauf.....	167
6.6	Parametereinstellungen.....	169
6.7	Zwischenfazit .....	176
<b>7</b>	<b>Anwendung des Modells .....</b>	<b>177</b>
7.1	Strukturuntersuchung des Modells.....	177
7.2	Generische Implementierungsuntersuchungen.....	181
7.2.1	Untersuchungsaufbau.....	181
7.2.2	Simulationsergebnisse.....	185
7.3	Resümee .....	189
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>191</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>195</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>211</b>
10.1	Genannte Firmen .....	211
10.2	Genutzte Softwareprodukte.....	212
10.3	Studentische Arbeiten.....	213
10.4	Programmiertexte im Modell - umgesetzt in POWERSIM .....	214
10.4.1	Programmiertext für Methoden.....	214
10.4.2	Programmiertext für Ziele.....	231

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gliederung der Arbeit .....	15
Abbildung 2:	System mit Elementen, Interdependenzen und Umwelt (in Anlehnung an ULRICH & PROBST 1991, S. 28) .....	20
Abbildung 3:	Beziehungsarten zwischen Elementen innerhalb eines Systems (in Anlehnung an ULRICH & PROBST 1991, S. 43) .....	21
Abbildung 4:	Typen von Modellen ( nach KÜLL & STÄHLY 1999, S.3).....	23
Abbildung 5:	System-Dynamics-Paradigma (vgl. COYLE 1996, S. 4) .....	34
Abbildung 6:	Vertrauen in das Modell und Kompetenzzuwachs während einer System-Dynamics-Modellierung (angelehnt an PETERSON & EBERLEIN 1994) .....	36
Abbildung 7:	Gegenüberstellung von Aktivitäten und Ergebnissen im System-Dynamics-Prozess (in Anlehnung an COYLE 1996, S. 14).....	37
Abbildung 8:	Notation für Kausaldiagramme (in Anlehnung an STERMAN 2000, S. 138) .....	38
Abbildung 9:	Beispiel für ein Kausaldiagramm (in Anlehnung an STERMAN 2000, S. 138).....	39
Abbildung 10:	Notation im Flussdiagramm.....	41
Abbildung 11:	Visualisierung der Bestands- und Flussgrößenbeziehung in System Dynamics.....	43
Abbildung 12:	Die Basis des Toyota-Produktionssystems (nach DENNIS 2002, S. 18).....	47
Abbildung 13:	Zuschlagskalkulation vs. Prinzip der Kostenreduzierung (nach SHINGO 1993, S. 179 angelehnt an OELTJENBRUNS 2000, S. 31) .....	48
Abbildung 14:	Die sieben Arten der Verschwendung in der Darstellung des KPS-Handbuchs der Knorr-Bremse SfS GmbH (KNORR-BREMSE 2002, S. 37) .....	50

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 15: Zuordnung von Methoden und Zielen zu den prinzipiellen Überlegungen des TPS (nach DENNIS 2002, S. 19) .....	53
Abbildung 16: Flexibilität durch U-Layout .....	56
Abbildung 17: Nicht synchronisierte und synchronisierte Produktionsprozesse mit unterschiedlichen Bearbeitungszeiten und ungleicher Taktzeit im Vergleich zu einer Prozesskette mit einheitlicher Bearbeitungszeit und einheitlicher Taktzeit (nach KNORR-BREMSE 2002, S. 6 ff. und MAN NUTZFAHRZEUGE AG 2007 S. 20).....	57
Abbildung 18: Auftragsabfolge mit ungeglätteter und geglätteter Produktion (angelehnt an LIKER 2004, S. 117 ff. nach REINHART 2007) ..	58
Abbildung 19: Supermarkt als Teil des Kanban-Systems (nach Knorr-Bremse 2002, S.11).....	61
Abbildung 20: Änderung der Aufgaben des Instandhaltungsteams durch die Einführung von TPM (nach LJUNGBERG 1998) .....	70
Abbildung 21: Vierstufiges Konzept zur Rüstzeitoptimierung (angelehnt an SHINGO 1993, S 247 nach REINHART 2007).....	73
Abbildung 22: Poka-Yoke-Einrichtung (nach HIRANO 1992).....	74
Abbildung 23: PDCA-Zyklus (angelehnt an DEMING 1986, nach REINHART 2007) .....	77
Abbildung 24: Einjahresplan zur Einführung eines Lean-Production-Systems in Unternehmen (nach SHINGO 1989, S. 223) .....	83
Abbildung 25: Abhängigkeiten von Methoden bei der Einführung von Lean-Production-Methoden (nach MONDEN 1997, S. 4).....	84
Abbildung 26: Systemdarstellung des TPS durch Takeda und Meynert sowie Einführungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 22) .....	86
Abbildung 27: Einführungsschritte für das TPS (nach TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 22 ff.) .....	87



---

Abbildung 28: Lean-Production-Implementierungsschritte (nach RICH et al. 2006) .....	95
Abbildung 29: Implementierungsplan für Lean Production nach Groesbeck (zitiert bei RIVERA & CHEN 2007, S. 688) .....	97
Abbildung 30: Implementierungswellen von Lean Production (nach RIVERA & CHEN 2007, S. 688).....	98
Abbildung 31: 6-phasiger Einführungsplan von Lean Production ausgehend von einer standardisierten Struktur in Einzelprozessen im ersten Schritt bis zur Einführung von Lean-Production-Methoden innerhalb eines werksübergreifenden Fertigungsverbundes in der letzten Phase (nach Reinhart et al. 2003).....	100
Abbildung 32: Zusammenhänge von Zielen und Maßnahmen im Toyota-Produktionssystem (nach COCHRAN et al. 2002).....	102
Abbildung 33: Zusammenhänge des Handlungsfeldes Problemlösung (in Abbildung 32 grau dargestellt nach COCHRAN et al. 2002) ....	103
Abbildung 34: Regelkreis zum Einsatz von Lean-Production-Methoden (nach PETER 2009, S. 49).....	106
Abbildung 35: Überblick zur Kriterienerfüllung bestehender Ansätze .....	107
Abbildung 36: „Sandhügelmodell“ zur Erklärung der Zusammenhänge von Qualität, Stabilität, Zeit und Kosten bei der Einführung von Lean Production (nach FERDOWS & DE MEYER 1990).....	111
Abbildung 37: Das Ergebnis einer Unternehmenskurzstudie zeigt, dass mit großem Abstand die drei Zieldimensionen Zeit, Kosten und Qualität die wichtigsten Ziele von Unternehmen für die Einführung von Lean-Production-Methoden sind (LANZA ET AL. 2011). .....	112
Abbildung 38: Wirkung von Lean-Production-Methoden und Qualitätsmethoden auf die Qualitätskennzahl ppm über den Einführungszeitraum von Lean Production (nach RICH et al. 2006, S. 120).....	116
Abbildung 39: Bezeichnung der Elemente des Vierecks zur Darstellung der Einflüsse der Methoden auf die Zielgrößen.....	117

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 40: Interdependenzen der Methode „Einzelstückfluss“ .....	118
Abbildung 41: Verkürzung der Durchlaufzeit im Einzelstückfluss im Vergleich zur Fertigung in Losen bei gleicher Stückzahl pro Zeit und der theoretisch eliminierten Wartezeit ohne die Berücksichtigung etwaiger Rüstzeiten.....	120
Abbildung 42: Interdependenzen der Methode „Flexibles Layout“ .....	121
Abbildung 43: Flexibles Layout vermeidet Verschwendung und damit Kosten .....	122
Abbildung 44: Interdependenzen der Methode „Produktion im Fluss“ .....	123
Abbildung 45: Interdependenzen der Methode „Synchronisation“ .....	125
Abbildung 46: Interdependenzen der Methode „Produktionsnivellierung - Heijunka“ .....	126
Abbildung 47: Abhängigkeit zwischen der Anzahl an Rüstvorgängen und einer nivellierten Auftragseinlastung.....	127
Abbildung 48: Interdependenzen der Methode „Just in Time“ .....	129
Abbildung 49: Interdependenzen der Methode „Kanban“ .....	131
Abbildung 50: Identifizierung von Problembereichen im Produktionsablauf durch die Einführung von Kanban mit einer dadurch folgenden Bestandsenkung. Das Problem wird symbolisiert durch das Absenken von Wasser aus einem See, in dem durch das Wasserablassen Untiefen sichtbar werden. (nach SHINGO 1993, S. 158).....	133
Abbildung 51: Interdependenzen der Methode „Mehrmaschinenbedienung“	134
Abbildung 52: Interdependenzen der Methode „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“ .....	136
Abbildung 53: Interdependenzen der Methode „Shojinka“ .....	137
Abbildung 54: Interdependenzen der Methode „Shojinka“ (nach MONDEN 1998, S. 160).....	138
Abbildung 55: Interdependenzen der Methode „Autonation“ .....	139

---

Abbildung 56: Interdependenzen der Methode „5S“ .....	141
Abbildung 57: Interdependenzen der Methode „Standardisierung“ .....	142
Abbildung 58: Interdependenzen zur Methode „Visualisierung“ .....	144
Abbildung 59: Interdependenzen zur Methode TPM - Total Productive Maintenance“ .....	145
Abbildung 60: Interdependenzen der Methode „SMED - Verkürzung der Rüstzeiten“ .....	146
Abbildung 61: Interdependenzen der Methode „Poka Yoke“ .....	148
Abbildung 62: Interdependenzen der Methode „Kaizen“ .....	150
Abbildung 63: Gesamtübersicht über die in der Literaturrecherche ermittelten Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden als Hinweise für die Einführung von Lean Production .....	153
Abbildung 64: Vorgehensweise bei der Durchführung der Experteninterviews zur Generierung einer gewichteten Interdependenzliste .....	155
Abbildung 65: Gewichtete Interdependenzmatrix von Lean-Production- Methoden als Ergebnis von Literaturrecherche und mehrstufigen Experteninterviews .....	156
Abbildung 66: Modellaufbau für Methoden am Beispiel der Methode Kanban .....	162
Abbildung 67: Modellaufbau der Zielgröße „Qualität“ .....	164
Abbildung 68: Modellaufbau der Zielgröße „Zeit“ .....	166
Abbildung 69: Modellaufbau der Zielgröße „Kosten“ .....	167
Abbildung 70: Ablauf des Simulationsablaufes dargestellt in einem Flussdiagramm .....	168
Abbildung 71: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse aus den beiden beispielhaften Simulationsläufen .....	175
Abbildung 72: Darstellung der Implementierungsreihenfolge der Lean- Production-Methoden in sogenannten Wellen, abhängig von ihren vorausgesetzten Methoden .....	179

## Abbildungsverzeichnis

---

- Abbildung 73: Darstellung der Implementierungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden in sogenannten Wellen, mit Bezeichnung der angenäherten Sigmoiden und des 20% Schwellwertes ..... 180
- Abbildung 74: Implementierungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden, die sich aus den Interdependenzen ergibt, wenn alle Methoden mit gleicher Intensität eingeführt werden..... 181

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenfassung von Merkmalen der Montagewerke von Großserien-Herstellern in der Automobilbranche (WOMACK et al. 1990, S. 97).....	4
Tabelle 2:	Pro Fahrzeug ermittelte summierte Pressen-, Antriebsstrang- und Endmontagezeit für ausgewählte Werke in Europa (KLUGER 2007) .....	6
Tabelle 3:	Vorgehensweise des System-Dynamics-Ansatzes (angelehnt an COYLE 1996, S. 11).....	35
Tabelle 4:	Die vier Schritte der Produktionsnivellierung (nach Takeda & Meynert 2004, S. 48 ff.).....	59
Tabelle 5:	5S, 5C, 5A und CANDO: ein System mit vielen Namen (nach BROWN et al. 2006 und RICH et al. 2006, S. 63).....	66
Tabelle 6:	Auszug notwendiger Standardisierungen (nach Takeda & Meynert 2004, S. 140) .....	68
Tabelle 7:	Instrumente des visuellen Managements (in Anlehnung an OELTJENBRUNS 2000, S. 280).....	69
Tabelle 8:	Zusammenhang zwischen TPM und den sieben Arten der Verschwendung (in Anlehnung an RICH et al. 2006, S. 148 f.)	71
Tabelle 9:	Sieben-Phasen-Plan zur Einführung von TPM (nach GROSS 2002, S. 8).....	72
Tabelle 10:	Aktionsplan zur Einführung von Lean Production (nach WOMACK & JONES 1997, S. 344) .....	90
Tabelle 11:	Fünf-Phasen-Plan nach Liker angelehnt an Ford und Toyota (vgl. LIKER 1997a, S. 20 ff.).....	92
Tabelle 12:	Fünf-Phasen-Plan (nach RICH et al. 2006).....	94
Tabelle 13:	Auswirkungen von Lean-Production-Methoden auf die Zielgrößen Zeit, Kosten und Bestände (RIVERA & CHEN 2007, S. 689) .....	99

Tabelle 14:	Simulationslauf I - Definition der frei wählbaren Parameter, die vor jedem Simulationslauf in das Simulationsmodell eingelesen werden. Die Werte sind beispielhaft zu verstehen. Die Summe der eigenen Gradienten ist ein Maß für den betriebenen Gesamtaufwand zur Einführung von Lean-Production-Methoden. Für diesen Simulationslauf beträgt die Summe aller eigenen Gradienten 232% / Jahr.....	171
Tabelle 15:	Auswertung Simulationslauf I - Ergebnisse des Simulationslaufes I, der über zehn Jahre mit den in Tabelle 14 beispielhaft angegebenen Eingangsgrößen lief, als jährliche Ausgabe der Bestandsgrößen Qualität, Kosten und Zeit.....	172
Tabelle 16:	Simulationslauf II - Definition der frei wählbaren Parameter, die vor jedem Simulationslauf in das Simulationsmodell eingelesen werden. Die Werte für die eigenen Gradienten, die einen Implementierungsplan charakterisieren, unterscheiden sich zum Simulationslauf I sehr wohl in der Verteilung auf die einzelnen Methoden, nicht jedoch in ihrer Gesamtsumme, vgl. Tabelle 14 .....	173
Tabelle 17:	Auswertung für Simulationslauf II - Ergebnisse des in Tabelle 16 definierten Simulationslaufes II als jährliche Ausgabe der Bestandsgrößen Qualität, Kosten und Zeit.....	174
Tabelle 18:	Eingangsparameter für den Simulationslauf zur Generierung der Reihenfolge analog dem Prinzip von Implementierungsphasen .....	178
Tabelle 19:	Gewählte Implementierungsdichte von Lean-Production-Methoden für die jeweilige Simulationsbasis, dargestellt als Startwerte des Einführungsgrades der Methoden.....	183
Tabelle 20:	Generische Implementierungsstrategien, ausgedrückt durch die eigenen Gradienten, also Implementierungsintensität im Rahmen einer Lean-Production-Implementierung .....	185
Tabelle 21:	Ergebnisse der 42 generischen Simulationsläufe .....	187

## Abkürzungsverzeichnis

5S	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke (dt. 5A: Aussortieren, Aufräumen, Arbeitsplatz sauber halten, Anordnung zur Regel machen, alle Schritte wiederholt durchlaufen)
Anm.	Anmerkung
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
DNA	Deoxyribonucleid acid (dt.: Desoxyribonukleinsäure)
DP	Design Parameter
DLZ	Durchlaufzeit
dt.	deutsch
e.V.	eingetragener Verein
engl.	Englisch
erw.	erweitert
et al.	et alii (dt.: und andere)
etc.	et cetera (dt.: und so weiter)
f.	folgende
ff.	fortfolgende
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (dt.: Fehler-Möglichkeiten- und -Einflussanalyse)
FR	Functional Requirement
ggfs.	gegebenenfalls

## Abkürzungsverzeichnis

---

i. Allg.	im Allgemeinen
inkl.	inklusive
IVMP	International Vehicle Motor Programme
i.d.R.	in der Regel
jap.	Japanisch
JiT	Just in Time (dt.: Bedarfssynchrone Produktion)
KMU	kleine und mittelständische Unternehmen
KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MA	Mitarbeiter
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MRP	Material Requirements Planning (dt.: Materialbedarfsplanung)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (dt.: Gesamtanlagen-effektivität)
ppm	Parts per Million (dt.: Teile von einer Million)
s.	siehe
s.h.	siehe hierzu
S.	Seite
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SMED	Single Minute Exchange of Die (dt.: einminütiger Werkzeugwechsel)
TPM	Total Productive Maintenance (dt.: umfassende Instandhaltung)
TPS	Toyota-Produktionssystem
u.a.	unter anderem



überarb.	überarbeitet
usw.	und so weiter
u.z.	und zwar
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
vgl.	vergleiche
WIP	Work in Process (dt.: Ware in Arbeit, Umlaufbestand)
z.B.	zum Beispiel
zzgl.	zuzüglich

### Verzeichnis der Formelzeichen

#### Große und kleine lateinische Buchstaben

A	Anfangszeitpunkt, Simulationsbeginn
a	Teileanzahl pro Behälter
B	Bestandsgröße
D	Nachfrage per Zeiteinheit
F	Flussgröße
t	Zeitpunkt
T	Zeitraum (Simulationsdauer, Betrachtungszeitraum, ...) bzw. Länge eines Zeitraumes, damit letzter betrachteter Zeitpunkt
$T_p$	Wiederbeschaffungszeit für Kanban
$T_w$	Wartezeit eines Kanban
Y	Anzahl an Kanbans

#### Griechische Buchstaben

$\alpha$	Sicherheitsfaktor
----------	-------------------

# 1 Einleitung

## 1.1 Bedeutung der Wertschöpfung

Die Wertschöpfung eines Unternehmens, definiert als produktive Tätigkeiten im verarbeitenden Gewerbe, gewinnt in produzierenden Unternehmen als originäres Ziel zunehmend an Bedeutung. Die Differenz zwischen der Wertschöpfung (=Produktionswert) und den zur Produktion notwendigen Vorleistungen beziffert die wirtschaftliche Leistung eines Unternehmens (HADELER & SELLIEN 2000).

Durch stark zunehmende länderübergreifende Transaktionen im wirtschaftlichen Bereich, zusammengefasst im Begriff Globalisierung, konkurrieren Unternehmen mit unterschiedlichen Voraussetzungen um die gleichen Märkte mit dem Ziel der Erhöhung ihrer wirtschaftlichen Leistung. Neben dem damit stark anwachsenden Risiko der höheren Zahl an Wettbewerbern bieten sich hier jedoch auch Chancen. Zu diesen zählen u.a. die höhere Anzahl an potenziellen Kooperationspartnern, der größere Absatzmarkt für Produkte sowie die Entkopplung von Währungsschwankungen (BERGER 2002).

Negativ für den Standort Deutschland im internationalen Wettbewerb sind die Lohnkosten, die häufig als Argument für eine Verlagerung der Produktion in das Ausland mit dort günstigeren Lohnkosten ins Feld geführt werden. Als positiv gelten bspw. die hohe Mitarbeiterqualifikation<sup>1</sup> sowie die gute Infrastruktur. Der Trend vergangener Jahre zeigt jedoch, dass die durch den Außenhandel betriebene Wertschöpfung in Deutschland, trotz zahlreicher Verlagerungen in das Ausland, gestiegen ist. Damit werden auch in Deutschland die durch die Globalisierung vorhandenen Potenziale erschlossen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2002).

Um diese Potenziale noch besser auszuschöpfen, gibt es für in Deutschland produzierende Unternehmen mehrere Möglichkeiten.

Zum einen kann der Produktionswert an sich erhöht werden, indem die wertschöpfenden Tätigkeiten erhöht werden, genannt Insourcing. Vor dem Hintergrund der erleichterten internationalen Zusammenarbeit und damit der aufwandsarmen Verlagerung von Teilaktivitäten in Niedrigkostenländer ist dies ein Weg,

---

<sup>1</sup> In der vorliegenden Arbeit wird die maskuline Form von Personenbezeichnungen als generisches Maskulinum verwendet. Es sind aber in gleicher Weise beide Geschlechter gemeint.

der für viele Unternehmen wenig realistisch erscheint, insbesondere für technisch anspruchslose Tätigkeiten.

Der zweite Weg besteht in der Verminderung der für die Produktion notwendigen eigenen Vorleistungen. Gemeint sind hierbei Leistungen, die auch als „nicht direkt wertschöpfende Tätigkeiten“ bezeichnet werden (MANN 2005, S. 196). Eine solche Verminderung kann z.B. in der Logistik mit der Einführung alternativer Lieferkonzepte erreicht werden.

Der dritte Weg besteht in der verschwendungsfreien Ausführung sowohl der Vorleistungen als auch der eigenen produktiven Tätigkeiten (eigene Wertschöpfung) im Unternehmen. Dies kann sowohl durch die Neuorganisation der Tätigkeiten (Effektivität) als auch durch die optimale Gestaltung der Tätigkeiten (Effizienz) realisiert werden. Dabei sind die Potenziale zur verschwendungsfreien Gestaltung auch bei geringen Anteilen an produzierenden Tätigkeiten enorm (KLAPPER 2001). Dieser dritte Weg sollte als erste Maßnahme zur Erreichung einer globalen Wettbewerbsfähigkeit eingeschlagen werden, da er auf eine organisatorische Änderung des Produktionsablaufes abzielt und somit unter Beibehaltung bestehender Ressourcen beschritten werden kann.

Der effektive und effiziente Einsatz der Ressourcen global agierender Unternehmen ist hierfür ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Dies umfasst explizit nicht nur die Eliminierung von Verschwendung, sondern auch die zielgerichtete prozessorientierte Gestaltung der gesamten Wertschöpfung.

Neben den genannten Chancen und Risiken der Globalisierung kann mit der Strategie der Fokussierung auf Effektivität und Effizienz auch anderen häufig im Zusammenhang mit der Globalisierung genannten Imponderabilien, wie Individualisierung und Turbulenz, hervorgerufen durch Komplexität und Dynamik im gesamten Unternehmensumfeld, erfolgreich begegnet werden (MCCARTHY & RICH 2004, S. XX; MILBERG & HEITMANN 2000, S. 313; SCHUH et al. 1998, S. 13 ff.; SPATH et al. 2001, S. 235).

## 1.2 Ausgangssituation und Motivation

Im Zuge der Industrialisierung gewann die Fragestellung der optimalen Gestaltung produktiver Tätigkeiten aufgrund von Skaleneffekten vermiedener Verschwendungen an Bedeutung. Die ersten großen Optimierungspotenziale wurden um das Jahr 1900 durch die wissenschaftlichen Arbeiten von F.W. Taylor beschrieben und durch deren Anwendung in der Gestaltung der Fließfertigung

durch Henry Ford bei General Motors gehoben (LACEY & FORD 1987). Diese Entwicklung von der Manufaktur zur Massenfertigung wird auch als „Erste Revolution in der Automobilindustrie“ bezeichnet (BECKER 2006). Charakterisierend hierfür waren die Arbeitsteilung bis in kleinste Tätigkeiten, die Arbeit am Fließband sowie die vertikale Integration, d.h. die Einbindung weiterer Tätigkeiten des Geschäftsprozesses wie Einkauf, Vertrieb und Produktion, im eigenen Unternehmen.

Für die 1950er Jahre des 20. Jahrhunderts und den Beginn der Globalisierung lassen sich zwei verschiedene Entwicklungen der Strategien zur Produktionsgestaltung von Automobilherstellern identifizieren. Die europäischen und US-amerikanischen Hersteller forcierten die Optimierung der Massenproduktion basierend auf den Methoden der Arbeitsteilung und der Fließbandfertigung. In Japan hingegen entwickelte Toyota eine neue Produktionsphilosophie, die zu einem Meilenstein für die Gestaltung von wertschöpfenden Prozessen werden sollte (SHINGO 1989, MONDEN 1998). Kiichiro Toyoda, zu jener Zeit Leiter der Automobilsparte bei Toyota, und sein Produktionsleiter Taiichi Ohno erlangten mit ihrem System, dem „Toyota-Produktionssystem“ (TPS) weltweite Bekanntheit. Sie fokussierten die verschwendungsfreie Produktion als Kernziel in der Gestaltung der wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Bereiche des Unternehmens (OHNO 1988). Unter verschwendungsfrei verstanden werden hier Herstellprozesse, die nur aus Abläufen bestehen, die einem Produkt einen Wert hinzufügen, wie z.B. montieren im Gegensatz zu Material holen oder vorbereiten.

Bis in die 1980er Jahre hatten die europäischen und die US-amerikanischen Automobilhersteller diesen japanischen Weg der Produktionsgestaltung nicht beachtet. Im Rahmen des „International Motor Vehicle Program“ (IMVP) erfolgte in einer umfangreichen Studie am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, USA, die Untersuchung der Unterschiede zwischen den beiden Strategien mittels wissenschaftlicher Methoden. In der Untersuchung wurden die Montagebereiche der Automobilhersteller auf Kennzahlenbasis analysiert und verglichen (s. Tabelle 1). Die Ergebnisse wurden 1990 durch Womack in dem Buch „The machine that changed the world“ zusammengefasst veröffentlicht und weckten das Interesse der westlichen Automobilkonzerne an der effizienten Produktionsweise von Toyota (vgl. WOMACK et al. 1990).

## 1 Einleitung

---

	japanische Werke in Japan	japanische Werke in den USA	US-Werke in den USA	europäische Werke in Europa
Produktivität [Stunden/Fahrzeug]	16,8	21,2	25,1	36,2
Montagefehler [x/100 Fahrzeuge]	60,0	65,0	82,3	97,0
Fläche [qm <sup>2</sup> / Fahrzeug /Jahr]	0,5	0,8	0,7	0,7
Nacharbeitsbereich [% Montagefläche]	4,1	4,9	12,9	14,4
Lagerbestand [Tage] (für 8 ausgewählte Teile)	0,2	1,6	2,9	2,0
Arbeiter in Teams [%]	69,3	71,3	17,3	0,6
Job Rotation [0=keine, 4=häufig]	3,0	2,7	0,9	1,9
Verbesserungsvorschläge [x/Mitarbeiter/Jahr]	61,6	1,4	0,4	0,4
Abwesenheit (%)	5,0	4,8	11,7	12,1

*Tabelle 1: Zusammenfassung von Merkmalen der Montagewerke von Großserien-Herstellern in der Automobilbranche (WOMACK et al. 1990, S. 97)*

Die durch die Studie erlangten Erkenntnisse veränderten die Strategie der Produktionsorganisation und das tägliche Arbeiten in einem Maße, dass als Untertitel des Buches (WOMACK et al. 1990) „Die zweite Revolution der Automobilindustrie“ gewählt wurde. John F. Krafcik war zu jener Zeit wesentlich an dieser Studie am MIT beteiligt und prägte für die japanische Produktionsstrategie den Begriff „Lean Production“, der heute synonym mit dem Begriff „Toyota-Produktionssystem“ verwendet wird (KRAFCIK 1988, KRAFCIK & MACDUFFIE 1989).

Am deutlichsten lässt sich der Unterschied zwischen den beiden Strategien anhand der Kennzahlen Produktivität, Qualität und Lagerbestand aufzeigen. So benötigte Toyota nur 16,8 Stunden für die Montage eines Autos, während es in den US-amerikanischen Werken 25 und in Europa sogar 36,2 Stunden waren. Die Anzahl der Montagefehler in den japanischen Fabriken betrug dabei 60 pro 100 Fahrzeuge gegenüber 82,3 pro 100 Fahrzeugen in den US-amerikanischen Wer-

ken und 97 pro 100 Fahrzeugen in den europäischen Werken. Dementsprechend größer dimensioniert waren auch die Nacharbeitsbereiche in den europäischen und in den US-amerikanischen Fabriken. Der durchschnittliche Lagerbestand von acht ausgewählten Produkten lag in japanischen Werken bei 0,2 Tagen, in US-amerikanischen bei 2,9 Tagen und in europäischen Werken bei 2,0 Tagen.

Wie erklärt sich dieser eklatante Wettbewerbsvorsprung?

Die Produktionsgestaltung in den USA und in Europa war bis zu der IVMP-Studie stets durch die Grundidee geprägt, Bauteileinzelkosten durch die Fertigung großer Stückzahlen zu minimieren (MONDEN 1998, S. 13). Mit dieser Strategie der Massenproduktion konnten in Zeiten stark wachsender Absatzzahlen bei amerikanischen Automobilherstellern beachtliche Gewinne erwirtschaftet werden. Die erste Ölkrise im Jahre 1973 sorgte jedoch für Absatzeinbrüche und in den Folgejahren für geringe Wachstumsraten in der Automobilbranche. Neue Herausforderungen kamen auf die Branche zu: Wirtschaftlichkeit bei hohem Variantenreichtum und niedrigeren Stückzahlen war durch Massenfertigung nur schwer realisierbar (ERLACH 2007, S. 13 ff.).

Toyota hatte zwischen den Jahren 1950 und 1985 eine andersartige Produktionsphilosophie entwickelt, die genau auf diese Rahmenbedingungen zugeschnitten ist. Das Toyota-Produktionssystem enthält Grundelemente der Massenproduktion nach Henry Ford wie beispielsweise das Fließband, jedoch wurden viele Punkte wesentlich verändert und weiter entwickelt (SHINGO 1993, S. 262). Der als Begründer des Toyota-Produktionssystems bezeichnete Taiichi Ohno nennt als wichtigste Bestandteile die Fließfertigung im Einzelstückfluss, die Mehrmaschinenbedienung und das Kanban-Prinzip als Methoden mit dem Hauptziel der Just-in-Time-Fertigung (OHNO 1993, S. 156 f.). Shingo beschreibt als Hauptziel die „*Minimierung von Mensch und Material bei gleich bleibend hohem Qualitätsniveau*“ (SHINGO 1993, S. 262). Das Just-in-Time-Prinzip, die Belieferung mit dem Kanban-Prinzip, das Fertigen in kleinen Losgrößen bis zum Einzelstückfluss, häufige Werkzeugwechsel mit kurzen Rüstzeiten, die Null-Fehler-Methode, das Null-Puffer-Prinzip und das Prinzip der kurzen Regelkreise gehören nach SHINGO (1993, S. 262) zu den wichtigsten Bestandteilen des Toyota-Produktionssystems. Die konsequente Nutzung dieser Methoden führte dazu, dass Toyota günstig und schnell bei hoher Qualität und wenig Ausschuss Autos produzieren konnte und so deutliche Wettbewerbsvorteile erlangte.

Als US-amerikanische und europäische Unternehmen diese eklatanten Unterschiede wahrnahmen, versuchten sie das Toyota-Produktionssystem, oder Teile

## 1 Einleitung

---

daraus, als Leitbild für die Gestaltung der Produktion zu übernehmen. Der immense Kostendruck auf die Automobilhersteller in den 1990er Jahren und die verstärkte Globalisierung trugen dazu bei, dass vor allem in der Automobilindustrie bis heute die Produktion basierend auf dem Grundgedanken von Lean Production ausgelegt wird (BECKER 2005, S. 136 f.).

Seit 1981 führt die amerikanische Unternehmensberatung Harbour Consulting Inc. jährlich eine weltweite Vergleichsstudie zur Produktivität von Automobilfabriken durch. Die Vergleichsergebnisse für nordamerikanische Hersteller werden jährlich veröffentlicht. In der Studie von 2007 ist der Unterschied zwischen dem besten und dem schlechtesten Produktivitätswert in nordamerikanischen Automobilfabriken nur noch 5,17 Stunden/Fahrzeug groß. Dies entspricht etwa einem Kostenunterschied pro Fahrzeug von ca. 300 \$. In die Herstellungszeit werden die Zeiten für die Pressung von Bauteilen, die Herstellung des Antriebsstranges sowie die Endmontage der Fahrzeuge eingerechnet. Im Jahr 1998 lag die Differenz zwischen den Herstellern noch bei bis zu 17,17 Stunden/Fahrzeug. Im Jahr 2005 lag der Unterschied nur noch bei 7,33 Stunden/Fahrzeug (HARBOUR CONSULTING 2007).

Die Ergebnisse des weltweiten Vergleichs werden nicht veröffentlicht und sind nur den teilnehmenden Unternehmen zugänglich. Ein Artikel in der Zeitschrift „Automobilwoche“ nannte die in Tabelle 2 gelisteten Daten für ausgewählte europäische Automobilwerke (KLUGER 2007).

Hersteller	Modell	Werk	Stunden pro Fahrzeug 2003	Stunden pro Fahrzeug 2006
Volkswagen	Golf	Mosel (D)	33,02	31,49
Peugeot	307	Mülhausen (F)	24,29	23,96
Opel	Astra	Bochum (D)	23,88	22,37
Toyota	Corolla	Burnaston (GB)	28,79	20,66
Ford	Focus	Saarlouis (D)	19,48	16,56
Nissan	Qashqai	Sunderland (GB)	-	14,68

*Tabelle 2: Pro Fahrzeug ermittelte summierte Pressen-, Antriebsstrang- und Endmontagezeit für ausgewählte Werke in Europa (KLUGER 2007)*



Die Differenzen der betrachteten europäischen Werke sind größer als die der nordamerikanischen Werke, was auch auf Unterschiede der Auslastung, der Personalstruktur und des Alters der Werke zurück zu führen ist. Generell sind jedoch die Anstrengungen der Fertigungszeitreduzierung über alle Unternehmen hinweg auszumachen.

Bezeichnend für den Erfolg der Fokussierung auf die Effektivität und Effizienz der Produktionsprozesse ist die signifikante Verminderung der Gesamtdurchlaufzeit. Die im Rahmen des IVMP erhobenen Daten basierten nur auf der DLZ in der Endmontage. Die Zeiten, die im Rahmen der Harbour-Studie erhoben wurden, beziehen sich auf die Pressen-, Antriebsstrang- und Endmontagezeit.

### 1.3 Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Implementierung von „Schlanken Produktionssystemen“ in bestehenden Produktionsstrukturen. Nach der Definition der Zielsetzung dieser Arbeit wird in Abschnitt 1.4 der Untersuchungsbereich abgegrenzt. In Abschnitt 1.5 wird der Aufbau dieser Arbeit erläutert.

In den vergangenen 20 Jahren seit der Veröffentlichung des Buches von Womack und Jones sind weltweit viele Anstrengungen unternommen worden, die Prinzipien des TPS in produzierende Unternehmen zu implementieren. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erstellung eines Modells zur Ableitung effektiver Einführungsreihenfolgen von Lean-Production-Methoden im Rahmen einer umfassenden Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“.

Seit der Studie des MIT haben sich Unternehmen aller Größen an der Implementierung von *Lean Production* versucht. Dies geschah und geschieht i.d.R. unter Inanspruchnahme unternehmensexterner Hilfe, wie von Unternehmensberatern oder Forschungsinstituten. Häufig führt diese Art der Unterstützung jedoch dazu, dass zwar das notwendige Fachwissen und die Theorie in Unternehmen transferiert werden, die Belegschaft jedoch kein Umdenken im Gestalten der täglichen Arbeit vollzieht.

Alle Autoren, die sich dem Thema der Einführung sogenannter „Schlanker Produktionsstrukturen“ gewidmet haben, betonen jedoch die Notwendigkeit eines Umdenkens und einer aktiven, also gestaltenden Mitarbeit der Beschäftigten. So ist es nicht selten zu beobachten, dass Einführungsprojekte von TPS oder von einzelnen Bestandteilen wie Just in Time (JiT) oder Kanban nicht erfolgreich sind und sich häufig nur als Projekte zum Mitarbeiterabbau in den Köpfen der

Beschäftigten fixieren. Der wesentliche Unterschied zwischen den verschiedenen Gestaltungsprinzipien der Produktion geht dabei verloren, und die Chance auf eine erfolgreiche Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“ sinkt. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) unterliegen aufgrund ihrer begrenzten Mitarbeiterkapazität dieser Gefahr (vgl. SPATH et al. 2011). Mittlerweile haben Unternehmen und Unternehmensberatungen diese Gefahr erkannt und achten bei der Einführung von „Schlanken Produktionssystemen“ darauf, die Belegschaft von Beginn an zu integrieren und die Neugestaltung von Produktionsbereichen mit in deren Verantwortung zu legen.

Eine große Herausforderung stellt die Definition des Zielsystems zur Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“ dar. Das Toyota-Produktionssystem wird häufig nur als Sammlung von Lean-Production-Methoden betrachtet, aus denen nur eine Selektion in der eigenen Produktion sinnvoll umzusetzen sei. Dabei wird häufig argumentiert, dass jedes Unternehmen individuell sei und damit unterschiedliche Stärken und Schwächen habe. Daher sei es richtig, auch nur die Methoden des TPS auszuwählen, die den Bedürfnissen des Unternehmens entsprechen. Dieser auf den ersten Blick logische Schluss ist jedoch nicht richtig. So ist das Toyota-Produktionssystem im Laufe mehrerer Jahrzehnte entwickelt worden, wobei die neuen Methoden immer auf die jeweils aktuellen Probleme ausgerichtet waren. Dies spricht dafür, nur die Methoden einzuführen, die auf die individuellen Schwächen von Unternehmen abzielen. Es ist jedoch evident, dass die einzelnen Phasen im Laufe der Entwicklung des TPS auch durch die Implementierung neuer Lean-Production-Methoden geprägt waren. D.h., dass die zu jeweiligen Phasen neu zu lösenden individuellen Probleme sowohl durch generelle äußere Einflüsse als auch durch die vorherige Implementierung von anderen Lean-Production-Methoden selbst hervortraten. Das Beispiel von der Einführung der Methode *Produktionsglättung* macht dies anschaulich. Um dem Problem der stark schwankenden Auftragseingänge, sowohl in Produktvarianten als auch hinsichtlich der Gesamtanzahl an Aufträgen, und deren Auswirkung einer unausgeglichene Produktionsbelegung zu begegnen, wurde das Prinzip der Produktionsglättung eingeführt. Hierbei werden die Aufträge des Monats in Wochen aufgeteilt, um anschließend in Tageslose herunter gebrochen zu werden. Dies führt dazu, dass Produktvarianten oder -typen nicht in einem großen Los am Stück gefertigt werden, sondern in kleinen Losen über mehrere Tage verteilt. Dies impliziert jedoch eine hohe Anzahl an Rüstwechseln. Ein Rüstwechsel ist, da er nicht zur Wertschöpfung beiträgt, Verschwendung im Sinne des TPS. Neben den positiven Effekten einer Produktionsglättung steigen also auch negative Effekte

an. Damit wird durch die Einführung einer Lean-Production-Methode ein neues Problem induziert (MONDEN 1998, SHINGO 1993). Genau diese Zusammenhänge sind es, auf die bspw. Monden, Takeda und Shingo hinweisen. So warnte Takeda vor der isolierten Betrachtung der einzelnen Methoden des Toyota-Produktionssystems:

*„Bei der Einführung des [...] Produktionssystems muss die Beziehung der einzelnen Schritte untereinander permanent berücksichtigt werden. Wenn man einen Schritt allein umsetzen will, wird man schnell an eine Mauer gelangen, die aus den wechselseitigen Einflüssen durch die anderen Schritte gebildet wird“ (TAKEDA 2004, S. 239).*

Das System muss demnach als Ganzes betrachtet werden und führt auch nur bei der ganzheitlichen Umsetzung nachhaltig zu Erfolg. Der Grund liegt in den Interdependenzen zwischen den Methoden und den Unternehmenszielen (MONDEN 1998). Bisherige Implementierungsansätze beinhalteten *„einzelne - teilweise willkürlich ausgewählte - Methoden (...) ohne die gleichzeitige Einordnung in einen strukturgebenden Rahmen“* (ZÄH & AULL 2006). Verständlich ist dieser Fehler in der Vorgehensweise aus dem Grund, dass es bisher an einer ganzheitlichen, wissenschaftlichen Untersuchung zu Interdependenzen fehlt, auf Basis derer ein Implementierungsplan sinnvoll entwickelt werden könnte.

Dem Gedanken einer umfassenden Einführung eines Produktionssystems folgend stellt sich die Frage nach der Reihenfolge der Einführung der einzelnen Methoden. Insbesondere KMUs sind aufgrund ihrer begrenzten Kapazitäten darauf angewiesen, die Einführung schrittweise zu vollziehen. Generell wird dies auch von Monden, Takeda und Shingo angemahnt, die jeweils eigene grobe Einführungspläne bereitstellen (MONDEN 1998, SHINGO 1989, TAKEDA & MEYNER 2004).

Der Bedarf das Zusammenwirken von Lean-Production-Methoden zu verstehen und Unterstützung bei der Definition von Einführungsstrategien für Schlanke Produktionssysteme zu erhalten wird durch Ergebnisse einer Studie von Lanza et al. bestätigt. Die Unternehmenskurzstudie beschäftigt sich mit Erfolgsfaktoren beim Einsatz von Lean-Production-Methoden. Die befragten Unternehmen geben folgende fehlende Hilfestellungen bei der Implementierung von Lean-Production-Methoden an. Aufgeführt sind die vier meistgenannten in absteigender Reihenfolge (LANZA ET AL. 2011):

- Fehlende Bewertungsmöglichkeiten des wirtschaftlichen Erfolges (46%)
- Schwierige Prognose des Zusammenspiels von Lean-Methoden (33%)

- Anwenderfreundliche Planungsunterstützung (31%)
- Keine klare Vorgehensweise für den Einsatz und Weiterentwicklung (25%).

Ziel dieser Arbeit ist daher die Untersuchung der Interdependenzen der einzelnen Lean-Production-Methoden. Diese sind in ein simulationsfähiges Modell zu übersetzen, um anhand des Modells geeignete Einführungsreihenfolgen von Lean-Production-Methoden im Rahmen einer umfassenden Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“ abzuleiten.

### 1.4 Spezifizierung des Untersuchungsbereiches

#### 1.4.1 Begriffsdefinitionen

Für ein einheitliches Verständnis werden in diesem Abschnitt die im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendeten zentralen Begriffe *Toyota-Produktionssystem*, *Lean Production*, *Schlankes Produktionssysteme*, *Lean-Production-Methoden* und *Interdependenzen* definiert.

##### **Toyota-Produktionssystem**

Das Toyota-Produktionssystem ist ein System zur verschwendungsfreien bzw. verschwendungsarmen Gestaltung der Produktionsstrukturen. Die erste Veröffentlichung hierzu erschien 1977 von Sugimori et al., die die Grundzüge des Toyota-Produktionssystems folgendermaßen beschrieben:

*„Die Reduzierung von Kosten durch die Vermeidung von Verschwendung - Nur die minimale zur Produktion notwendige Leistung - Ein System, mit dem die Mitarbeiter ihre vollständigen Fähigkeiten nutzen können.“<sup>2</sup>*

Die Basis für die Produktionsgestaltung unter diesen Vorgaben bilden die beiden Methoden Just in Time (Abschnitt 3.2.2.6) und Jidoka (Abschnitt 3.2.2.7), auch Autonomation genannt (SUGIMORI et al. 1977).

Die grundlegende Idee des Toyota-Produktionssystems ist es also, nur das zu produzieren, was benötigt wird, zu dem Zeitpunkt, zu dem es benötigt wird, und

---

<sup>2</sup> “Reduction of cost through elimination of waste/ Minimum amount absolutely essential to production/ System that will allow the workers to display their full capability by themselves.”

in der Menge, in der es benötigt wird. Um die übergeordneten Ziele der Kostenreduktion, der Lieferzeitverkürzung und der höchsten Qualität zu erreichen, hat Toyota die Unterziele Produktivität, Flexibilität, Qualität und Respekt vor dem Mitarbeiter definiert (MONDEN 1998). Diese Unterziele werden durch die Anwendung verschiedener Lean-Production-Methoden erreicht. Die Basis dabei ist die absolute Vermeidung von Verschwendung (OHNO 1988). In ihrem grundlegenden Artikel zum Wesen des Toyota-Produktionssystems *“Die DNA des Toyota-Produktionssystems”*<sup>3</sup> schreiben Spear und Bowen:

*„TPS beinhaltet die Standardisierung von Arbeitsschritten, störungsfreie Arbeitsflüsse, enge Verknüpfungen zwischen Lieferanten und Kunden und kontinuierliche Verbesserung basierend auf einer wissenschaftlichen Methodik“* (SPEAR & BOWEN 1999).<sup>4</sup>

Am weitesten fassen Shah & WARD ihre Definition des Toyota-Produktionssystems:

*“Lean Production ist ein integriertes sozio-technisches System mit der Zielsetzung, Verschwendung zu beseitigen, durch die gleichlaufende Minimierung von Variabilität sowohl bei Lieferanten als auch bei Kunden als auch im Unternehmen selbst.”* (SHAH & WARD 2007).<sup>5</sup>

Diese Definition bildet auch die Grundlage des Begriffes *Toyota-Produktionssystem* in der vorliegenden Arbeit.

### **Lean Production**

Unter *Lean Production* wird generell und auch in der vorliegenden Arbeit die Anwendung der Methoden des Toyota-Produktionssystems im Hinblick auf die Erreichung der Ziele und Unterziele verstanden. Der Begriff wurde im Rahmen der IVMP von J. F. Krafcik geprägt und bezog sich darauf, dass Toyota weniger „von allem“, also von Material, Kosten, Personal, Ressourcen usw., zur Herstellung seiner Produkte benötigt (KRAFCIK 1988). Grundlegendes Prinzip für Lean Production ist die Gestaltung der Produktion im Fluss (vgl. ROTHER & HARRIS 2001, SMALLEY 2004). Dies ist keine spezifisch neue Methode, sondern die

---

<sup>3</sup> “The DNA of the Toyota Production System”

<sup>4</sup> “TPS includes standardisation of work, uninterrupted work flows, direct links between suppliers and customers, and continuous improvement based on the scientific method.”

<sup>5</sup> “Lean Production is an integrated socio-technical system whose main objective is to eliminate waste by concurrently reducing or minimizing supplier, customer, and internal variability.”

Übernahme des Fließprinzips von Henry Ford (OELTJENBRUNS 2000). Womack et al. beschreiben *Lean Production* folgendermaßen:

*„Im Vergleich zur Massenproduktion wird immer weniger benutzt - die Hälfte des menschlichen Aufwands..., die Hälfte an Fertigungsflächen, die Hälfte an Werkzeuginvestition, die Hälfte an Konstruktionsstunden, innerhalb derer ein Produkt doppelt so schnell entwickelt wird. Es wird auch deutlich weniger als die Hälfte des Bestands in der Fabrik benötigt, mit geringerer Anzahl an Produktionsfehlern bei einer stetig wachsenden Variantenvielfalt.“ (WOMACK ET AL. 1990).<sup>6</sup>*

Hopp und Spearman unterstreichen den systemischen Charakter von Lean Production: „Lean Production ist ein integriertes System, das die Produktion von Gütern bzw. Dienstleistungen mit minimalen Bestandskosten schafft“ (HOPP & SPEARMAN 2004).<sup>7</sup>

Mittlerweile wird *Lean Production* für die Gestaltung der Prozesse aller Bereiche von produzierenden Unternehmen, wie Einkauf, Produktentwicklung und Vertrieb, genutzt und findet darüber hinaus Anwendung bei Behörden unter den Begriffen „*Lean Administration*“ oder „*Lean Government*“ (BÖSENBERG & HAUSER 1994, WIEGAND & FRANCK 2004, WIEGAND & NUTZ 2007) und in Krankenhäusern unter den Begriffen „*Lean Healthcare*“ oder „*Lean Hospital*“ (CALDWELL et al. 2005, CHALICE 2007, WESTWOOD et al. 2007). In der englischsprachigen Bezeichnung spiegelt sich wider, dass insbesondere Nordamerika und das Vereinigte Königreich einen Vorsprung vor anderen Staaten und Regionen hinsichtlich der Erforschung und Realisierung von „*Lean Production*“ in anderen Bereichen als der Produktion haben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Begriff *Lean Production* als die Organisation der Produktion durch die Anwendung der Methoden des Toyota-Produktionssystems mit der konsequenten Ausrichtung auf Kostensenkung durch Verschwendungseliminierung verwendet.

---

<sup>6</sup> “[It] uses less of everything compared with mass production – half the human effort..., half the manufacturing space, half the investment in tools, half the engineering hours to develop a new product in half the time. Also, it requires keeping far less than half the needed inventory on site, results in many fewer defects, and produces a greater and ever growing variety of products.”

<sup>7</sup> “Lean Production is an integrated system that accomplishes production of goods/services with minimal buffering costs.”

### **Schlankes Produktionssystem**

Der Begriff *Schlankes Produktionssystem* resultiert aus der wörtlichen Übersetzung des englischen Begriffes *Lean Production* ins Deutsche. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff als Überbegriff für die unternehmensspezifischen Produktionssysteme verwendet, die inhaltlich auf dem Toyota-Produktionssystem und *Lean Production* aufbauen.

In diesem Zusammenhang wird, insbesondere in Deutschland, auch die Wortkombination vom „*Ganzheitlichen Produktionssystem*“ genutzt (FEGGELER & NEUHAUS 2002, SPATH 2003, KORGE & SCHOLTZ 2004, DOMBROWSKI et al. 2005, WILDEMANN 2005). Dieser Begriff vermittelt den Eindruck, dass diese Produktionssysteme die Produktion ganzheitlich betreffen und damit ausreichen, um die Produktion zu gestalten. Dies ist jedoch nicht der Fall, da *Schlankes Produktionssysteme* z.B. keinerlei strategische Methoden beinhalten, sondern eher auf der taktischen Ebene anwendbar sind und ebenso keine Methoden für unterschiedliche Produktionsplanungs- und -steuerungsstrategien bereitstellen. Weiterhin fehlen bei vielen dieser *Ganzheitlichen Produktionssysteme* umfassende Qualitätsmanagementsysteme, die nicht nur einzelne Aspekte der Qualitätssicherung behandeln. Häufig werden auch Fragen nach der Anbindung der Kunden und der Lieferanten nicht umfassend, sondern nur in Ausschnitten behandelt. Der Begriff *Ganzheitliches Produktionssystem* vermittelt daher einen falschen Eindruck. Um diesen zu vermeiden, wird der Begriff in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet. Vielmehr ist ein *Schlankes Produktionssystem* ergänzend zu anderen oben genannten Systemen der Produktionsgestaltung zu betrachten.

### **Lean-Production-Methoden**

Unter dem Begriff *Lean-Production-Methoden* werden die einzelnen Methoden zusammengefasst, die in ihrer Summe und ihren Zusammenhängen das *Schlankes Produktionssystem* bilden.

### **Interdependenzen**

Mit *Interdependenzen* werden die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen *Lean-Production-Methoden* bezeichnet, die in ihren Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen, Rückkopplungen und zeitlichen Auswirkungsverzögerungen den systemischen Charakter der *Schlanken Produktionssysteme* erzeugen.

### 1.4.2 Eingrenzung des Untersuchungsbereiches

Zur Eingrenzung des Untersuchungsbereiches wird in diesem Abschnitt die Art von Unternehmen skizziert, auf die die vorliegende Arbeit fokussiert ist.

Mit der vorliegenden Arbeit sind Unternehmen angesprochen, die sich mit der Implementierung *Schlanker Produktionssysteme* beschäftigen. Hierbei wird nicht unterschieden, ob es sich um eine Ersteinführung handelt oder ob sich das Unternehmen bereits in einem Implementierungsprozess befindet. Insbesondere die Frage nach der richtigen Einführungsreihenfolge beschäftigt vor allem kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), die mit ihren begrenzten Ressourcen keinen Spielraum haben, ihre Einführungsreihenfolge über Versuch und Erkenntnis (*trial and error*) zu generieren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden 18 verschiedene *Lean-Production-Methoden* untersucht, die zu den gängigsten gehören und in allen bekannten *Schlanken Produktionssystemen* enthalten sind. Vor dem Hintergrund, dass das *Toyota-Produktionssystem* zur Verringerung von Variabilität und deren Auswirkungen in Prozessen ausgelegt ist, liegt der Fokus in dieser Arbeit auf Unternehmen mit einer variantenreichen Serienfertigung.

Die Arbeit befasst sich mit der Einführungsreihenfolge von *Lean-Production-Methoden* bei der Einführung *Schlanker Produktionssysteme*. Daher richtet sie sich an die planenden Abteilungen im Unternehmen, die eine Einführung auf strategischer Ebene vorbereiten.

## 1.5 Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in acht Kapitel, deren logischer Aufbau in Abbildung 1 dargestellt ist.

In den vorangegangenen Abschnitten wurde bereits auf die Ausgangssituation und Motivation der vorliegenden Arbeit eingegangen, auf deren Basis eine Zielformulierung erfolgte. Abgeschlossen wurde dies mit den Definitionen elementarer Begriffe der vorliegenden Arbeit sowie einer Eingrenzung des Untersuchungsbereiches.

In Kapitel 2 und 3 werden die Grundlagen der Arbeit erläutert. Dabei wird zuerst in Kapitel 2 auf die Begriffe *System* und *Modell* als Gestaltungsgrundlage eingegangen. Darauf aufbauend wird die Methode *System Dynamics* beschrieben, mit der das Modell der Arbeit erstellt ist. Anschließend wird in Kapitel 3 eine Ein-



grenzung des Untersuchungsbereichs auf 18 ausgewählte *Lean-Production-Methoden* vorgenommen. Diese werden zum Verständnis der späteren Ausführungen detailliert beschrieben.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit dem Stand der Erkenntnisse zum konkreten Untersuchungsobjekt der vorliegenden Arbeit sowie zu den *Interdependenzen* und Einführungsreihenfolgen der *Lean-Production-Methoden*. Dieses Kapitel dient der Beschreibung existierender Ansätze sowie der Identifikation von Lücken hinsichtlich der Betrachtung von *Interdependenzen* von *Lean-Production-Methoden*.

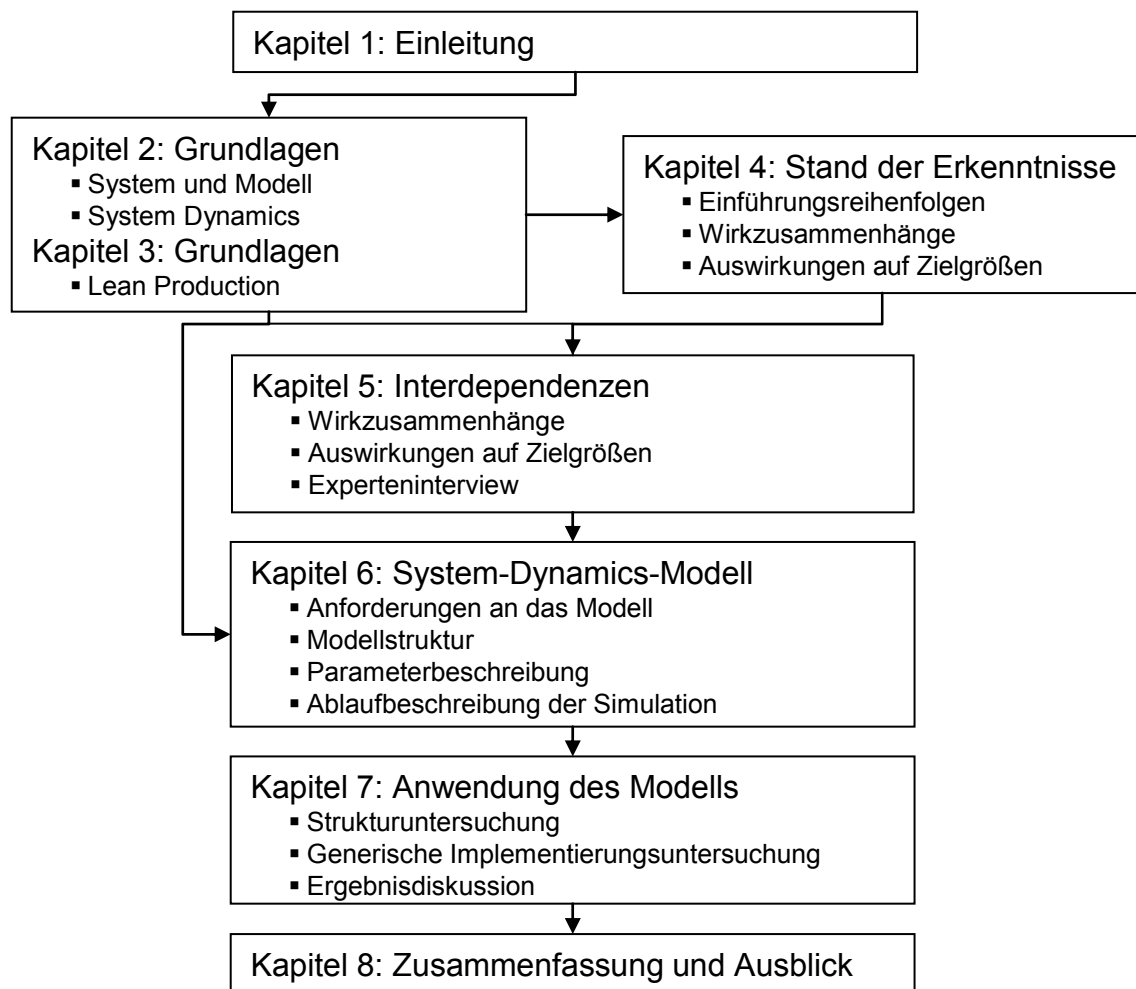


Abbildung 1: Gliederung der Arbeit

In Kapitel 5 wird auf Basis einer Literaturanalyse eine systematische Zusammenstellung der in der Literatur beschriebenen qualitativen Zusammenhänge vorgenommen. Dabei wird Bezug auf die Beschreibungen der *Lean-Production-Methoden* in Kapitel 3 sowie den Stand der Erkenntnisse in Kapitel 4 genommen. Es werden die Interdependenzen zwischen den betrachteten Elementen dargelegt und die Auswirkungen der *Lean-Production-Methoden* auf die Kenngrößen *Zeit*,

*Qualität* und *Kosten* identifiziert. Die Ergebnisse werden zusammengefasst, hinsichtlich ihrer Konsistenz, Genauigkeit und Korrektheit überprüft sowie abschließend beschrieben.

Nachfolgend werden Experteninterviews zum Thema der *Interdependenzen* zwischen *Lean-Production-Methoden* vorgestellt. Die Ergebnisse der verschiedenen Experteninterviews werden mit den Ergebnissen der Literaturanalyse verglichen und zusammengeführt. Dabei werden die Einflüsse verschiedener Methoden auf eine Methode (n:1-Beziehung) gegeneinander gewichtet und abgewogen. Ergebnis des Kapitels 5 ist ein beschriebenes und in einer Matrix dargestelltes *Modell an Interdependenzen* zwischen den betrachteten *Lean-Production-Methoden*.

Aufbauend auf Kapitel 2 und 5 werden in Kapitel 6 die Anforderungen an ein *System-Dynamics-Modell* zur Modellierung, Simulation und Ergebnisanalyse formuliert und die Struktur des Modells wird beschrieben. Der Ablauf der Simulation wird mittels eines Flussdiagrammes erläutert und eine beispielhafte Anwendung erklärt die Funktion der Parametereinstellungen. Das theoretisch formulierte Modell wird dann in einem unterstützenden Softwarewerkzeug umgesetzt.

In Kapitel 7 wird das Modell angewendet und eine strukturelle Untersuchung anhand generischer Ausgangssituationen und generischer Implementierungsstrategien durchgeführt. Das Ergebnis ist eine zeitliche Reihenfolge der Methodenimplementierung. Es erfolgen generische Implementierungsuntersuchungen, die zu drei allgemeinen Hauptaussagen zur Einführung von Lean-Production-Methoden führen. Die Anwendung des Modells in Kapitel 7 zeigt auch auf, dass mit dem Simulationsmodell unterschiedliche Implementierungsvorgehensweisen und Ausgangszustände von Unternehmen eingegeben und hinterlegt werden können.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf darauf aufbauende Fragestellungen gegeben. Dabei werden mögliche Erweiterungen oder Detaillierungen des Simulationsmodells skizziert.

## 2 Grundlagen

### 2.1 System, Modell und Simulation

#### 2.1.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden Grundlagen für den *Systembegriff*, *Simulation* und darauf aufbauend *System Dynamics* erläutert, die für das Verständnis des erstellten Modells notwendig sind.

Die Frage nach der richtigen Einführungsreihenfolge von Lean-Production-Methoden soll im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe eines System-Dynamics-Modells beantwortet werden. System Dynamics ist eine Verhaltenstheorie, die auf Ursache-Wirkungs-Beziehungen, dem Paradigma der Informationsrückkopplung und zeitlichen Wirkungsverzögerungen als Ursache des Verhaltens bestimmender Komponenten beruht. Dabei bedient sich System Dynamics (vgl. SCHÖNEBORN 2004) der Simulation mathematischer Modelle als Abbild von Systemen, wobei das Untersuchungsobjekt als System bezeichnet wird (COYLE 1996). In den folgenden Abschnitten werden die Systemtheorie und die Theorie zur Modellbildung und Simulation dargelegt, um anschließend System Dynamics zu erläutern.

#### 2.1.2 Systemtheorie

##### 2.1.2.1 Stellung der Systemtheorie

Die Systemtheorie ist eine formale Wissenschaft der Struktur, der Verknüpfungen und des Verhaltens von Systemen (ULRICH 1970, S. 105). Sie ist eng verwandt mit der Kybernetik, die sich mit der Regelung komplexer Systeme beschäftigt (SCHIEMENZ 1993). Die Kybernetik ist als Regelungs- und Kommunikationstheorie auf die Lenkungsproblematik in Systemen fokussiert, während die Systemtheorie auf das Verständnis des Verhaltens eines Gesamtsystems ausgerichtet ist. Die Systemtheorie basiert auf den Arbeiten des Biologen Ludwig von Bertalanffy. Sie ist keinem Wissenschaftszweig direkt zuzuordnen, sondern wird als interdisziplinärer Ansatz in vielen nicht zusammengehörigen Wissenschaften,

wie z.B. der Biologie, der Soziologie und der Technik angewandt (SCHIEMENZ 1993).

### 2.1.2.2 Der Begriff *System*

Das Wort *System* leitet sich aus dem griechischen „σύστημα“ «sýstēma» ab und bedeutet „aus mehreren Teilen zusammengesetztes, gegliedertes Ganzes“. Das Wort geht als Begriff auf von Bertalanffy zurück und ist der zentrale Gegenstand einer übergreifenden Theorie (Systemtheorie), die in verschiedenen Wissensgebieten Anwendung findet (Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften, Soziologie und Wirtschaftswissenschaften) (vgl. BROCKHAUS 2002-2007).

Die interdisziplinäre Anwendung der Systemtheorie beruht vor allem auf dieser sehr unspezifischen Definition des Begriffes vom System, die sich darauf beschränkt, dass sich ein System aus Elementen und deren Interdependenzen bildet (ALEWELL et al. 1972, S. 217). Nach Palm ist ein System eine Menge verschiedener Elemente, die zur Erfüllung eines bestimmten Zwecks miteinander verbunden sind (PALM 2005, S. 915). Ulrich und Probst definieren System folgendermaßen:

*„Ein System ist ein dynamisches Ganzes, das als solches bestimmte Eigenschaften und Verhaltensweisen besitzt. Es besteht aus Teilen, die so miteinander verknüpft sind, dass kein Teil unabhängig ist von anderen Teilen und das Verhalten beeinflusst“ (ULRICH & PROBST 1991).*

Sie weisen darauf hin, dass es keine dem System immanente Ordnung in Bezug auf den Systemzweck gebe (Ulrich 1970; S. 105). Bossel definiert im Hinblick auf die Modellierung von Systemen den Begriff etwas spezifischer, indem er ein Objekt dann als System deklariert, wenn dieses (Bossel 1992, S. 16):

- eine bestimmte Funktion erfüllt, d.h. dem Beobachter muss sich ein Systemzweck erschließen,
- seine Funktion durch die Ordnung der Systemelemente und deren Interdependenzen beeinflusst wird und
- durch die Störung seiner Systemintegrität die Systemidentität zerstört wird, d.h. das System ist nicht teilbar.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Definition von Bossel gefolgt, da sich ein Lean-Production-System exakt in diese Definition einfügt. Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit befasst sich mit der näheren Untersuchung der Funktion eines Lean-Production-Systems auf Basis des Zusammenwirkens seiner Systemelemente (vgl. Abschnitt 4.2.1).

### **2.1.2.3 Die Struktur von Systemen**

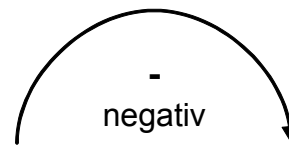
Ein System ist also die Anordnung einzelner Elemente, die miteinander in Beziehung stehen. Diese Beziehungen werden in der vorliegenden Arbeit als Interdependenzen bezeichnet, andere Begriffe hierzu sind Wirkzusammenhänge oder Relationen (vgl. KRALLMANN et al. 1999). Auf Basis der Interaktionen eines Systems mit seiner Umwelt kann zwischen offenen, teil-offenen und geschlossenen Systemen unterschieden werden. Offene Systeme besitzen keine Systemgrenze, d.h. einzelne Elemente sind aufgrund der Quantität und Intensität ihrer Interdependenzen nicht von einer Umwelt abgrenzbar. Im Unterschied hierzu besitzen geschlossene Systeme keine Interdependenzen zu ihrer Umwelt, sie sind also in sich abgeschlossen. Teil-offene Systeme sind durch definierte Schnittstellen an ihre Umwelt angekoppelt. Über diese Schnittstellen nimmt das teil-offene System Einfluss auf seine Umwelt und umgekehrt die Umwelt auf das teil-offene System. Die Abgrenzung eines Systems von seiner Umwelt über die Ziehung von Systemgrenzen ist dabei abhängig von der jeweiligen Fragestellung und dem Standpunkt des Beobachters (ULRICH & PROBST 1991, S. 33). Ein System kann sowohl mehrere Subsysteme innerhalb der eigenen Systemgrenzen beinhalten als auch interagierender Bestandteil eines übergeordneten Systems sein, quasi selbst als Subsystem wirken. Dabei ist die Anzahl der Dekompositionsebenen nicht beschränkt. Sind Subsysteme selbst nicht mehr teilbar, spricht man von Elementen, auf die der Systembegriff nicht mehr zutrifft. Abbildung 2 veranschaulicht die Struktur von Systemen. Bei der Definition eines Systems ist es zur Komplexitätsreduktion ratsam, nur Subsysteme zu definieren, die das System auch beeinflussen.



Energieflüssen (vgl. MALIK 2006). Jede Interdependenz zwischen einzelnen Elementen kann dabei einen spezifischen Einfluss und einen eigenen zeitlichen Verlauf haben. Das sich dadurch ergebende Gesamtverhalten des Systems wird analog zu einer räumlichen Struktur als zeitliche Prozessstruktur eines Systems bezeichnet. (ULRICH 1970, S. 110). Die Interdependenzen zwischen den Elementen können entgegengesetzte und gleichgerichtete Wirkung haben, was in grafischer Notation durch ein „-“ oder ein „+“ ausgedrückt wird. In Abbildung 3 ist dies verdeutlicht.

**Entgegengesetzt:**

- je größer ... desto kleiner
- je kleiner ... desto größer
- je weniger ... desto mehr



**Gleichgerichtet:**

- je größer ... desto größer
- je kleiner ... desto kleiner
- je weniger ... desto weniger

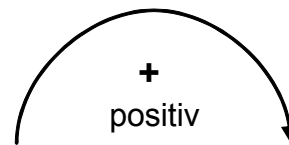


Abbildung 3: Beziehungsarten zwischen Elementen innerhalb eines Systems (in Anlehnung an ULRICH & PROBST 1991, S. 43)

#### 2.1.2.4 Komplexität in Systemen

Die zeitliche Prozessstruktur eines Systems, basierend auf den Interdependenzen der Elemente, ist ein Gradmesser für dessen Komplexität. „Komplexität ist dabei die aus den Beziehungen hervorgehende Vielfältigkeit von Zuständen und Zustandskonfigurationen während einer Zeitspanne“ (ULRICH & PROBST 1991, S. 70). Um ein objektives Bestimmungsmaß für die Komplexität eines Systems zu erhalten, führt Ulrich den Begriff der Varietät ein (ULRICH 1970, S. 116), die sich aus der Anzahl der verschiedenen Beziehungen zwischen Systemelementen ergibt.

Senge weist mit den Begriffen „*detail complexity*“ und „*dynamic complexity*“ auf den Komplexitätscharakter eines Systems hin. Dabei bezeichnet „*detail complexity*“ die Verbindung zwischen Elementen, also die zeitliche und räumliche Ordnung. Mit dem Begriff „*dynamic complexity*“ umschreibt er Situationen, in denen der Ursache-Wirkungszusammenhang nicht augenscheinlich durch die

Raum-Zeit-Verbindung der Systemelemente ersichtlich ist (SENGE 1990). Espejo ist der Auffassung, dass in der „*dynamic complexity*“ die gleichzeitige Berücksichtigung von Konnektivität und Zeit und damit bei der Betrachtung der „*detail complexity*“ bereits beinhaltet sei (ESPEJO 1994).

### 2.1.3 Modelle

#### 2.1.3.1 Allgemeines und Zweck

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Modellierung der Interdependenzen von Lean-Production-Methoden. In den folgenden Abschnitten wird daher auf die Grundlagen des Modellbegriffs und der Modellbildung eingegangen.

Brockhaus definiert den Begriff *Modell* im naturwissenschaftlichen bzw. technischen Sinn folgendermaßen:

*„Modell: materielles Objekt oder theoretisches Konstrukt, das einem Untersuchungsgegenstand in bestimmten Eigenschaften oder Relationen entspricht (Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie) und für sonst nicht mögliche oder zu aufwändige experimentelle Untersuchungen, mathematische Berechnungen, Erklärungs- oder Demonstrationzwecke oder zur Optimierung des Originals verwendet wird. [...] Wirtschaftstheoretische Modelle sind ein vereinfachtes Abbild des tatsächlichen Wirtschaftsablaufs, zum Teil in mathematischer Formulierung“ (BROCKHAUS 2002-2007).*

Insbesondere vielschichtige Verhaltenscharakteristika können durch ein Modell eher erkannt werden als im real existierenden System (vgl. FORRESTER 1972b, S. 49). Modelle dienen unterschiedlichen Zwecken und können dementsprechend unterschiedliche Ausprägungen haben (FORRESTER 1972a, S. 73). Der Zweck bestimmt dabei die Art des Modells sowie dessen Umfang (vgl. BOSSEL 1992, S. 40).

Modelle können in drei Klassen eingeteilt werden. Beschreibungsmodelle werden dazu genutzt, Abläufe innerhalb eines Systems zu beschreiben. Erklärungsmodelle zielen darauf ab, Modelle verständlich zu machen und zu begründen. Entscheidungsmodelle wiederum dienen zur Unterstützung von Entscheidungen durch die Darstellung möglicher Entwicklungen eines Systems unter bestimmten Annahmen (wenn-dann Zusammenhang, s. Abbildung 4) (KÜLL & STÄHLY 1999).



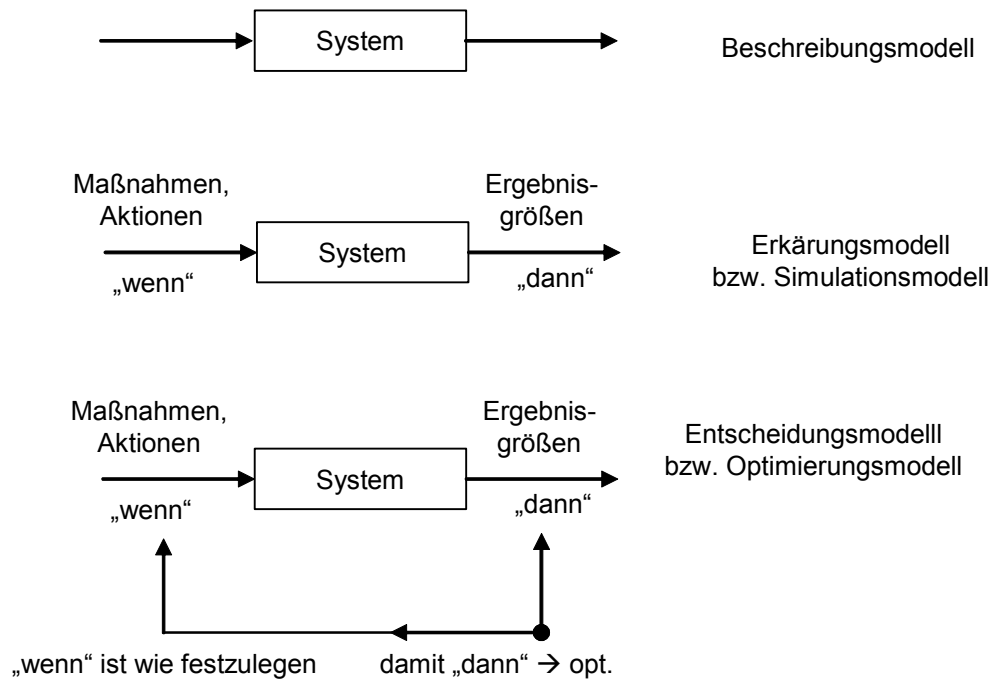


Abbildung 4: Typen von Modellen (nach KÜLL & STÄHLY 1999, S.3)

### 2.1.3.2 Modellarten

Modelle können hinsichtlich ihrer Art in mentale, verbale und formale Modelle untergliedert werden.

#### Mentale Modelle

Mentale Modelle sind dadurch gekennzeichnet, dass sie vom Menschen „im Geiste“ selbst gebildet werden und damit seiner Wahrnehmung und Interpretation der Realität unterliegen. Sie entsprechen je nach Fertigkeit und Vermögen des einzelnen mehr oder weniger der Realität und sind dementsprechend unterschiedlich komplex. Grundsätzlich werden in einem mentalen Modell alle Elemente, die ein Mensch als wesentlich erkennt, zueinander in Beziehung gesetzt. Die Beziehungen der Elemente können dabei Kausalzusammenhänge sein, ökonomische Bedingungen beinhalten, technische oder mechanische Ausprägungen besitzen, etc. Durch die Interpretation des modellbildenden Menschen kann kein mentales Modell den Anspruch auf Vollständigkeit und absolute Korrektheit erheben, sondern die Modelle sind im Gegenteil durch neue Erkenntnisse oder Gegebenheiten leicht modifizierbar und flexibel. Mentale Modelle zweier verschiedener Personen, die das gleiche System beschreiben, können daher auch sehr unterschiedlich ausfallen. Ebenso sind mentale Modelle von anderen Menschen schwer verständlich, da die vorherigen Interpretationen, die die Modellbildung beeinflussen,

nicht im Modell enthalten sind. Doyle und Ford definieren mentale Modelle folgendermaßen:

*„Ein mentales Modell eines dynamischen Systems ist eine relativ dauerhafte und eingängige, aber begrenzte innerlich-konzeptionelle Vorstellung eines externen Systems, dessen Struktur der wahrgenommene Struktur dieses Systems entspricht“ (DOYLE & FORD 1998, S.17).<sup>8</sup>*

### **Verbale Modelle**

Mit verbalen Modellen werden mentale Modelle in eine nutzungsfähige Form überführt. Das zuvor internalisiert vorliegende Modell wird externalisiert und damit anderen zur Verfügung gestellt. Diese Externalisierung kann bspw. durch Visualisierung des mentalen Modells erfolgen (vgl. MORECROFT 1992, S. 9). Weiterhin können mehrere mentale Modelle in einem verbalen Modell zusammengefasst werden. Dies kann beispielsweise durch Expertenbefragungen geschehen.

### **Formale Modelle**

Während mentale und verbale Modelle die menschliche Vorstellung von Systemen sind und damit immer unpräzise und unvollständig bleiben, stellen formale Modelle durch mathematisch exakte Beschreibungen von Elementen und Beziehungen immer eine klar definierte Abbildung eines Sachverhaltes dar. Die Formalisierung betrifft hierbei eine einheitliche Modellierungssprache, die präzise Dokumentation und Erläuterung des Modells und den Anspruch auf Vollkommenheit. Dies ist jedoch auch der Nachteil formaler Modelle, die aufgrund ihres Genauigkeitsanspruchs häufig komplexer Natur und damit schwerer nachvollziehbar sind. Andererseits können fehlerhafte Vereinfachungen oder Abstraktionen zu falschen Vorhersagen bzgl. des Systemverhaltens führen (vgl. STERMAN 1994). Genau diese Vereinfachung und Abstraktion wiederum ermöglicht die Darstellung komplexer Zusammenhänge und so die Erlangung eines Erkenntnisgewinns über ansonsten der Erkenntnis verschlossene Systeme (vgl. SCHÖNEBORN 2004, S. 31).

Neben den mentalen und verbalen Modellen sind auch die formalen Modelle einem iterativen Anpassungsprozess unterworfen, der eine kontinuierliche Modell-

---

<sup>8</sup> “a mental model of a dynamic system is a relatively enduring and accessible, but limited, internal conceptual representation of an external system whose structure maintains the perceived structure of that system.”

verbesserung bewirkt und zu einer immer größeren Übereinstimmung zwischen System und Modell führt. Sterman beschreibt dies folgendermaßen:

*„Modellierung als ein Glied des Lernprozesses ist iterativ und damit eine kontinuierliche Vorgehensweise, welche die Formulierung von Hypothesen, die Prüfung und die Revision von sowohl formalen als auch mentalen Modellen beinhaltet“ (STERMAN 2000, S. 83).<sup>9</sup>*

### 2.1.4 Simulation und Lernmodelle

*Nach VDI-Richtlinie 3633 ist „Simulation [...] das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“ (VDI 3633).*

Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden.

Unter Simulation wird prinzipiell das „wirksamkeitsäquivalente Nachahmen der Wirklichkeit“ verstanden (KOXHOLT 1967, S. 12). Pagenkopf wird etwas genauer, indem er von der „experimentellen Nachahmung von Abläufen realer oder gedachter Systeme mit Hilfe von formalen Modellen“ spricht (PAGENKOPF 1998; S. 539). Ziel einer Simulation ist laut Pagenkopf eine Aussage über das Verhalten des im formalen Modell abgebildeten Systems zu erhalten. Erst die Nutzung eines formalen Modells ermöglicht dabei die Durchführung einer Simulation.

Ein Lernmodell basiert auf einem Simulationsmodell und hat zum Ziel, den Anwender mit dem zu Grunde liegenden System vertraut zu machen. Dies geschieht dadurch, dass dem Nutzer im Lernmodell verschiedene Konfigurationen mit jeweils fehlenden Daten vorgegeben werden, die seine Interaktion erfordern. Im Rahmen dieser Interaktionen lernt der Anwender das Modell kennen und das zu Grunde liegende System zu verstehen (VENNIX et al. 1994, S.35).

Die klare Trennung zwischen der Abbildung eines Systems in einem formalen Modell und der Erarbeitung eines darauf aufbauenden Simulationsmodells ist nach Milling notwendig. Im Simulationsmodell müssen durch Einschränkungen der Software oder durch die exakte Definition der mathematischen Zusammenhänge einschränkende Annahmen getroffen werden, so dass sich ein spezifisches

---

<sup>9</sup> “Modelling as a part of the learning process, is iterative, a continual process of formulating hypotheses, testing, a revision of both formal and mental models.”

## 2 Grundlagen

---

Simulationsmodell vom formalen Modell des Systems unterscheiden kann (MILLING 1996, S. 1841).

Simulations- und Lernmodelle dienen dem Anwender zur Simulation unterschiedlicher Szenarien in verschiedenen Simulationsläufen, um so das Verhalten des formalen Modells zu verstehen und damit ein Verständnis des Realsystems zu erlangen (vgl. STERMAN 2000). Verständnis umfasst dabei die Struktur und die Entscheidungsregeln, die das System lenken und steuern und damit dessen Charakteristika ausmachen (NAGEL 2003, S. 40). Forrester geht näher auf die Entscheidungsregeln ein und weist darauf hin, dass diese über Beobachtungen im Realsystem zu erkennen und zu quantifizieren sind. Bei sogenannten „weichen Faktoren“ ist diese Quantifizierung häufig nicht realisierbar. Forrester ist der Überzeugung, dass ein Herausnehmen solcher Faktoren wesentlich ungenauer ist, als plausible Annahmen für ihre Werte zu treffen.

*„Wenn ein Faktor unberücksichtigt bleibt, heißt es, diesen Wert gleich Null zu setzen, was vermutlich den einzigen bekannten Wert darstellt, der falsch ist“ (FORRESTER 1972a).<sup>10</sup>*

Eine Gefahr bei der Verwendung von Simulationsmodellen ist die Erstellung eines Modells ohne ausreichende Expertenkenntnis sowohl des realen Systems als auch bei der Definition der quantitativen Zusammenhänge als mathematische Funktionen. Weiterhin sind Modell und Wirklichkeit immer klar voneinander zu trennen, um nicht die kritische Distanz zum Modell zu verlieren, die notwendig ist, um die Ergebnisse der Simulation in die Realität zu transferieren (POMMERENING 1987, S. 20).

Kritiker von Simulationsmodellen argumentieren, dass die Beobachtungen an Simulationsmodellen auch am realen System durchgeführt werden können. Einige Autoren widersprechen hier mit folgenden Begründungen (vgl. BERENS et al. 2004, LANE 1995, SCHÖNEBORN 2004, STERMAN 2000):

- Die Kosten für die Erstellung und Analyse eines Simulationsmodells liegen gemeinhin deutlich unter denen einer Untersuchung am realen Objekt.
- Durch die Nutzung eines Simulationsmodells ist es möglich, unabhängig von der Echtzeit und den realen räumlichen Gegebenheiten zu arbeiten. Die Zeiten und Räume in einer Simulation sind beliebig variierbar.

---

<sup>10</sup> “Ignoring a relationship implies that it has a value of zero - probably the only value known to be wrong.”

- Durch die Durchführung bestimmter Untersuchungen könnten am realen System irreparable Schäden auftreten, die durch die Nutzung eines Modells vermieden werden. Die Simulationen sind beliebig oft variierbar und wiederholbar.
- Nur mit einem Lernmodell können den Lernenden die Konsequenzen ihrer Entscheidungen vor Augen geführt werden. In der Realität fehlt häufig das Abstraktionsvermögen, um Konsequenzen und ihre Ursachen in Zusammenhang zu bringen.
- Simulationsmodelle bieten die Möglichkeit zur Ermittlung und Beschreibung alternativer Entwicklungen eines Unternehmens im Rahmen von Planungsüberlegungen.
- Auswirkungen bestimmter Entscheidungen und Strategien des Managements können quantifiziert werden.

## 2.2 System Dynamics

### 2.2.1 Allgemeine Einführung in System Dynamics

Bei der Betrachtung von Systemen, deren analytische Formulierungen außerhalb der Reichweite der heutigen Mathematik liegen, kann zur Analyse ein Modell des Systems simuliert werden. Die Simulation liefert dabei keine analytisch exakte Lösung. Sie gibt keinen Aufschluss über alle möglichen Verhaltensmodi des Systems. Stattdessen liefert die Simulation eine Zeitreihe der Systemoperationen mit Koeffizienten und Anfangsbedingungen als jeweilige numerische Werte. Um Informationen über unterschiedliche Verhaltensweisen des Systems zu erhalten, muss die Systemsimulation mit schrittweisen Rechenvorgängen durchgeführt werden. Wegen der extensiven Rechnung, die solche Simulationsstudien erfordern, hatten sie nur begrenzten Wert, bis digital operierende Rechensysteme verfügbar wurden (vgl. FORRESTER 1972b).

Aus diesen Überlegungen heraus formulierte Forrester folgendes Prinzip für Simulationslösungen:

*„Das dynamische Verhalten von Systemen kann von Modellen repräsentiert werden, die nicht-lineare Beziehungen aufweisen und so komplex sind, dass mathematisch-analytische Lösungen unmöglich sind. Für solche Systeme ist lediglich die Simulation, d.h. die schrittweise numerische Lösung verfügbar“ (FORRESTER 1972a, S. 85).*

Für diese Art der Simulation entwickelte Forrester an der Sloan School of Management des Massachusetts Institute of Technology (MIT) die Methode zur Analyse und Modellsimulation komplexer und dynamischer Systeme, deren Grundlagen auf den oben diskutierten Begriffen System, Modell und Simulation aufbauen und die als System Dynamics bekannt ist.

Im Folgenden werden die Grundlagen und verschiedenen Ausprägungen von System Dynamics erläutert.

### 2.2.2 Grundlagen von System Dynamics

System Dynamics ist eine Methode zur Analyse von in Modellen abgebildeten Systemen, die durch komplexe und dynamische Interdependenzen charakterisiert sind. Dabei ist eine System-Dynamics-Simulation auf die ganzheitliche Betrachtung des Systems ausgerichtet. Zur Erstellung eines System-Dynamics-Modells werden daher die Elemente und deren Interdependenzen, also das Interagieren der Systemelemente, herangezogen. Im Besonderen werden die Rückkopplungen, also die wechselseitigen Einflüsse, zwischen den Elementen berücksichtigt. Die aus einer Simulation gewonnenen Erkenntnisse sollen auf formal vergleichbare Systeme übertragen werden (vgl. PALM 2005, SCHÖNEBORN 2004, S. 34). Coyle definiert System Dynamics folgendermaßen:

*„System Dynamics handelt vom zeitabhängigen Verhalten operativ geleiteter Systeme mit dem Ziel, das System genau zu beschreiben. Dies geschieht mit Hilfe von quantitativen und qualitativen Modellen, um den Einfluss der Informationsrückkopplung des Systems auf sein Verhalten zu verstehen und robuste Informationsrückkopplungsstrukturen und Steuerungsgrundsätze durch Simulationen und Optimierungsverfahren zu entwickeln“ (COYLE 1996, S. 10).<sup>11</sup>*

---

<sup>11</sup> System Dynamics deals with the time-dependent behaviour of managed systems with the aim of describing the system and understanding, through qualitative and quantitative models, how information-feedback governs its behaviour, and designing robust information feedback structures and control policies through simulation and optimisation.”

System Dynamics bedient sich mathematischer Modelle und Analysen von Elementen und deren Zusammenhänge mit dem Ziel, die Interdependenzen im System und deren zeitabhängiges Verhalten zu verstehen. Die verschiedenen Modellierungsansätze und Analyseprozesse müssen hierbei sorgfältig ausgewählt werden, um die Auswirkungen der dynamischen wechselseitigen Beziehungen auf das Verhalten des Gesamtsystems erkennen zu können (BRADL 2004, S. 17, PALM 2005, Vorwort S. X).

Die drei Leitmotive von System Dynamics bilden in ihrer Kombination die spezifische Charakteristik der Methode, die sie von anderen Methoden abgrenzt.

1. Das Konzept der Strukturtheorie zum Aufbau von Systemen ermöglicht es, Erkenntnisse aus der Analyse eines Systems auf andere vergleichbare oder ähnliche Systeme zu übertragen.
2. Die Integration von Rückkopplungsschleifen ist die wesentliche Eigenart von System Dynamics. Nach Forrester unterliegen alle Entscheidungsprozesse in einem Modell einem Regelkreischarakter bzw. sind in einen solchen eingebunden: „*Das wichtigste Fundament von „Industrial Dynamics“ ist das Konzept [...] von Informationsrückkopplungssystemen*“ (FORRESTER 1969, S. 14).<sup>12</sup> Diese Berücksichtigung von Regelkreisen in einem System ermöglicht erst die Untersuchung der inneren Dynamik von Systemen genauso wie die Einbeziehung sogenannter Verzögerungen, also zeitlicher Differenzen zwischen Ursache- und Wirkungsaufreten.
3. Die Nutzung formaler Modelle im Rahmen einer computerbasierten Simulation ermöglicht deren kostengünstige Durchführung mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Szenarien und die grafisch anschauliche Darstellung der Ergebnisse (NAGEL 2003, S. 42).

### 2.2.3 Historie von System Dynamics

In den 40er Jahren des vorangegangenen Jahrhunderts wurden zur Analyse industrieller Fragestellungen und wirtschaftlicher Zusammenhänge mathematische Methoden der formalen Analysis verwendet, oft basierend auf statistischen Methoden. Die sich hieraus entwickelnde Wissenschaftsdisziplin wurde mit Operational Research bezeichnet und beschäftigte sich intensiv mit der Entwicklung

---

<sup>12</sup> “The most important foundation for industrial dynamics is the concept of [...] information-feedback systems.”

industriell anwendbarer Methoden, wie mit dem linearen Programmieren (COYLE 1996, S. 3), das aus der Analyse technischer Zusammenhänge bekannt war. Diese Hilfsmittel gewannen insbesondere als Unterstützungssysteme für Entscheider in Unternehmen an Bedeutung. Sobald sich jedoch Umweltbedingungen und Einflüsse dynamisch verändern und sich damit das System über die Zeit an die dynamischen Umweltbedingungen anpassen muss, treten Fragestellungen mit regelungstechnischem Hintergrund auf. Dabei werden die Veränderungen der Einflüsse erfasst, Systeme über Änderungen an Elementen angepasst, die Auswirkungen werden über Rückkopplungsschleifen überprüft, um ggfs. neu eingestellt zu werden. Beispiele hierfür sind die Thermostate und Klimaanlage in Wohnungen oder, deutlich komplexer, der Autopilot im Flugzeug.

In den 1950er Jahren erkannte der Elektroingenieur Jay W. Forrester, dass sich die komplexen Probleme der Industrie bezüglich organisatorischer Fragestellungen nicht mit Methoden der formalen Analysis lösen lassen und entwickelte die Methode „*Industrial Dynamics*“. Sie basierte auf dem Prinzip der Regelkreise, die Forrester aus der Technik kannte. „*Industrial Dynamics*“ war ein rückkopplungsbasiertes ökonomisches Computermodell, mit dem Komplexität, Nichtlinearität und Rückkopplungsstrukturen untersucht werden konnten (vgl. FORRESTER 1972b). Internationale Beachtung fand die Methode durch das vom Club of Rome in Auftrag gegebene und von Forrester und Meadows entwickelte Weltmodell unter dem Namen: „Grenzen des Wachstums“ (vgl. MEADOWS et al. 1972).

Aus der Regelungstechnik kommend, ist der System-Dynamics-Ansatz vor allem auf das Verständnis der Wirkmechanismen eines Systems ausgelegt. Dabei ist es durchaus möglich, sich im Modell nur auf die wichtigen Elemente, Merkmale und Beziehungen eines Systems zu reduzieren. Dies gilt umso mehr, als es nicht das Ziel von System Dynamics ist, Lösungen für definierte Fragestellungen im Sinne einer Optimierung zu generieren, sondern die Auswirkungen verschiedener Strategien der Systemsteuerung zu untersuchen. Dazu reicht ein simplifiziertes Modell des Systems aus. Strohecker nennt drei Maßnahmen zur Modellreduktion zu Gunsten einer höheren Transparenz (STROHECKER 1998, S. 219):

- Elimination von Faktoren, die erfahrungsgemäß keinen oder einen sehr geringen Einfluss auf das Ergebnis haben,
- Einschränkung der Variationsbreite der in der Untersuchung genutzten Faktoren auf ein realistisches Intervall und



- Einschränkung der Untersuchung metrisch skalierbarer Größen auf eine sehr geringe Anzahl von Stufen.

Die Fragestellungen, auf die diese Methode im Laufe der Zeit ausgeweitet worden ist, haben alle das Ziel der Analyse eines Systemverhaltens über der Zeit unter Nutzung unterschiedlicher Strategiemuster. Beantwortet werden soll jeweils die Frage nach der optimalen Steuerung eines Systems, also einer robusten und anpassungsfähigen Gesamtstrategie. Dies jedoch geschieht nicht durch ein Optimierungsmodell, sondern durch ein Modell, das ein Verständnis des Gesamtsystems und der Ursache-Wirkungszusammenhänge im System ermöglicht.

Heute ist System Dynamics eine etablierte Methode zur Abbildung und Simulation komplexer und dynamischer Systeme in unterschiedlichsten Fachgebieten und wird damit dem Status einer übergreifenden Strukturtheorie gerecht. Anwendungen erstrecken sich hierbei auf betriebswirtschaftliche Fragestellungen sowie auf ein weites Feld gesamtwirtschaftlicher, naturwissenschaftlicher und gesellschaftlicher Probleme (vgl. ERVIK & RANDERS 1976). Konkrete Anwendung findet System Dynamics von der Entwicklung von Unternehmensstrategien bis zur Dynamik von Diabetes, vom Wettrüsten während des Kalten Krieges bis zum Kampf zwischen Immunsystem und dem AIDS-Virus (STERMAN 2000, S. 203).

#### 2.2.4 Systemisches Denken

Systemisches Denken ist die Voraussetzung für die Erstellung von System-Dynamics-Modellen und kann folgendermaßen beschrieben werden:

*„Systemisches Denken basiert auf der Idee, dass die Wechselwirkungen einzelner Komponenten bezogen auf den gemeinsamen Zweck eines Systems wesentlich sind.“ (KIM 1995, S.3).<sup>13</sup>*

Senge betont, dass *Systemisches Denken* eine Methode ist, um das Ganze im Blick zu haben (SENGE 1990). Es dient der Identifikation von Veränderungsmustern, statt starre Ausschnitte der Realität zu zeigen. Dies geschieht dadurch, dass dem Konzept des *Systemischen Denkens* die Struktur komplexer Rückkopplungssysteme zu Grunde liegt. Am Beispiel der Sprache wird dies besonders deutlich: Unsere Sprache ist in ihrer Grundstruktur linear angelegt: Subjekt - Prädikat -

---

<sup>13</sup> “System Thinking embodies the idea that the interrelationships among parts relative to a common purpose of a system are what are important.”

## 2 Grundlagen

---

Objekt. Biologen sagen dies habe evolutionäre Gründe. So mussten unsere Vorfahren auf der Jagd in Sekundenbruchteilen Situationen beurteilen und entscheiden, wie sie sich verhalten sollen. Dies führte zur Ausbildung unserer Satz-Syntax, die nur Ausdruck eines tief verinnerlichten linearen Kausal-Wirkungsdenkens ist. Dieses ist jedoch ungeeignet, in größeren Zeit-Raum-Dimensionen zu denken und z.B. einer Wirkung mehrere zeitlich versetzte Ursachen zuzuordnen.

Forrester sieht im Systemischen Denken eine wesentliche Vorbereitung für die Methode *System Dynamics*, indem sie das Denken in systemischen Zusammenhängen schult, vermeidet es aber, dem Systemischen Denken mehr Bedeutung zuzuordnen, da Systemisches Denken nur den ersten, gleichwohl notwendige Schritt zum Erkennen und Modellieren komplexer Systeme darstellt. Forrester bemängelt im Systemischen Denken das Fehlen von Zustandsgrößen und Flussgrößen (s. Abschnitt 2.2.5), mit denen erst dynamisches Modellverhalten abgebildet werden kann (FORRESTER 1994).

Richmond hingegen weist dem Systemischen Denken eine deutlich größere Rolle zu. So ist seine Auffassung, dass die Rückkopplungsschleifen die wesentliche Ursache von dynamischem Systemverhalten sind, und er benennt „*Systems Thinking*“ in „*Dynamic Thinking*“ um.

*„Dynamic Thinking ist die Fähigkeit, Verhaltensmuster zu erkennen und abzuleiten, statt auf einzelne Vorgänge zu achten und zu versuchen, deren Verhalten vorherzusagen. Es geht um das Betrachten von Phänomenen als das Ergebnis eines stets laufenden Regelkreises und nicht als das Ergebnis einer Gruppe von gewissen Faktoren“ (RICHMOND 1993).<sup>14</sup>*

Nach seiner Vorstellung gibt es drei notwendige Fähigkeiten, um systemisch zu denken:

- Das Verständnis für die Systemstruktur als Ursache für das Verhalten des Systems,
- das Denken in geschlossenen Regelkreisen und

---

<sup>14</sup> “Dynamic Thinking is the ability to see and deduce the behaviour patterns rather than focusing on, and seeking to predict, events. It is thinking about phenomena as resulting from ongoing circular processes unfolding through time rather than as belonging to a set of factors.”

- das Verstehen der identifizierten Regelkreise im Sinne ihrer zusammenhängenden Wirkungsweise (vgl. RICHMOND 1994).

### 2.2.5 Modellierung mit System Dynamics

Ausgehend von der Kenntnis über beliebig komplexe Zusammenhänge mehrerer Einflussfaktoren lässt sich zunächst ein Modell entwickeln, das ein entstehendes Wirkmodell grafisch beschreibt. Sofern die einzelnen Zusammenhänge zwischen den Elementen mathematisch beschrieben sind, ist es im nächsten Schritt möglich, durch Veränderung einzelner Größen oder auch durch von außen zugeführte Inputparameter das Verhalten des Gesamtsystems und/oder verschiedener Outputparameter zu analysieren.

System Dynamics basiert auf der Erfahrung, dass Systeme mit mehreren Variablen in ihrer Komplexität intuitiv nicht zu verstehen sind. Um Handlungsfolgen besser abschätzen zu können, werden formale Modelle entwickelt, die das Verhalten aus den Interdependenzen der systeminternen Variablen erzeugen (geschlossene Systeme). Hierfür ist ein iterativer Modellierungsprozess wesentlich.

Forrester schlägt hierfür einen sechsheufigen Modellierungsprozess vor (FORRESTER 1994). Nach einer Problembeschreibung (1) folgen die Beschreibung der dynamischen Aspekte (2) und deren Formulierung in einem Simulationsmodell (3). Anschließend wird ein Testlauf (4) durchgeführt und mit einer Analyse des Verbesserungsbedarfs (5) beurteilt, woran sich eine Detaillierung der Problembeschreibung (6) anschließt. Diese Vorgehensweise zur Systemanalyse unterstützt das Denken in Gesamtzusammenhängen und bietet Einsichten in die Problemstruktur und -dynamik; alternative Szenarien und Konsequenzen von Entscheidungen können in einer virtuellen Realität ermittelt und getestet werden.

Coyle beschreibt zur Modellerstellung ein Paradigma von System Dynamics, das in Abbildung 5 dargestellt ist. Die Abbildung ist folgendermaßen zu lesen: Der aktuelle Zustand eines Systems entsteht aus Entscheidungen des Managements, die gewisse zeitverzögerte Konsequenzen im Systemverhalten bewirken und das System in einen neuen Zustand überführen. Dieser neue Systemzustand wird von Rezeptoren im System aufgenommen und externalisiert. Auch diese Systemerkennung verläuft mit einer Zeitverzögerung. Hieraus wiederum ergeben sich Aktivitäten, um den registrierten Zustand des Systems in den gewünschten zu transformieren. Wieder ist zu entscheiden, welche Aktivitäten die Richtigen sind, um den gewünschten Systemzustand zu erhalten. Aus diesen Entscheidungen resultieren wiederum neue Konsequenzen.

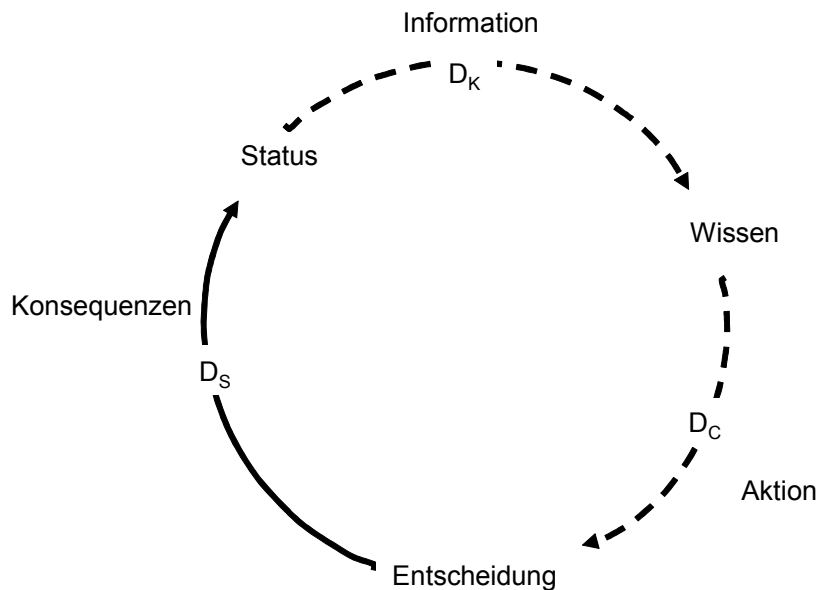


Abbildung 5: System-Dynamics-Paradigma (vgl. COYLE 1996, S. 4)

Dieser Vorgang läuft dabei nicht linear ab, sondern mit dynamischem Verhalten inkl. zeitlicher Verzögerungen, die auch in die Entscheidungen mit einfließen müssen. Als *dynamisches Verhalten* in seinem Paradigma bezeichnet Coyle hier den Zusammenhang zwischen Information, Aktivitäten und Konsequenzen, der kontinuierlich über die Zeit verschiedene Verhaltensmuster annimmt.

Coyle definiert in Anlehnung an Forrester (FORRESTER 1994) einen Prozess zur Erstellung und Analyse eines System-Dynamics-Modells, der in Tabelle 3 veranschaulicht ist.

In einem ersten Schritt werden das Problem und die involvierten Protagonisten identifiziert. Im zweiten Schritt werden die Interdependenzen in einem Kausaldiagramm gezeigt (s. hierzu auch Abschnitt 2.2.6). Im dritten Schritt werden die Kausaldiagramme in ein Flussdiagramm übertragen, das als Basis zur Simulation dient. Hier wird das Kausaldiagramm einer intensiven Analyse hinsichtlich der Variablen und Einheiten unterworfen. Die Erstellung des Kausaldiagramms und des Flussdiagramms ist ein Schlüssel zum Verständnis des dynamischen Verhaltens des Systems.

Phasen	Phaseninhalte
Phase 1	Problembeschreibung
Phase 2	Verstehen der Frage und Beschreiben des Systems (Einflussdiagramme)
Phase 3	Qualitative Analyse des Grobkonzepts
Phase 4	Übertrag in ein Computermodell
Phase 5	Modellüberprüfung und -gestaltung
Phase 5a	Versuchsbasierte Modellierung und Regelerstellung mittels Simulationsdurchführung → objektive funktionale Zusammenhänge
Phase 5b	Optimierung des Modells → robuste Parameterdefinitionen

*Tabelle 3: Vorgehensweise des System-Dynamics-Ansatzes (angelehnt an COYLE 1996, S. 11)*

Der vierte Schritt ist die Übertragung des Flussdiagramms in ein simulationsfähiges Computermodell. Dieses Modell kann durchaus andere Detaillierungsgrade besitzen als das Flussdiagramm. In diesem Schritt wird das Modell getestet und auf seine Konsistenz überprüft. Schritt fünf ist die quantitative Analyse des Modells. Hier wird in einem ersten Schritt die qualitative Analyse aus Schritt drei durch Computersimulationen durchgespielt. Weiterhin werden aus der Vergangenheit bekannte Verhaltensweisen durch spezifische Simulationskonfigurationen erzeugt. Die Ergebnisse dienen der Prüfung des Computermodells auf seine Realitätsnähe und dem tieferen Verständnis des dynamischen Verhaltens des Systems in Bezug auf verschiedene Einflussgrößen (Untersuchung zur Sensitivität). Die beiden Schritte 5a und 5b dienen der eigentlichen zielorientierten Simulation zur Ableitung effektiver Steuerungskonzepte des Systems. In Schritt 5a werden hierzu verschiedene Konzepte zur Systembeeinflussung simuliert und deren Ergebnisse miteinander verglichen. Schritt 5b befasst sich mit der zielgerichteten Suche nach bestimmten optimalen Werten im Rahmen bestimmter Konfigurationen, so dass Schritt 5a und Schritt 5b durchaus aufeinander aufbauen können. Alle Schritte sind iterativ durchzuführen, da mit zunehmender Projektdauer ein tieferes Verständnis des Gesamtsystems vorliegt und frühere Gestaltungsentscheidungen später anders bewertet werden können.

## 2 Grundlagen

---

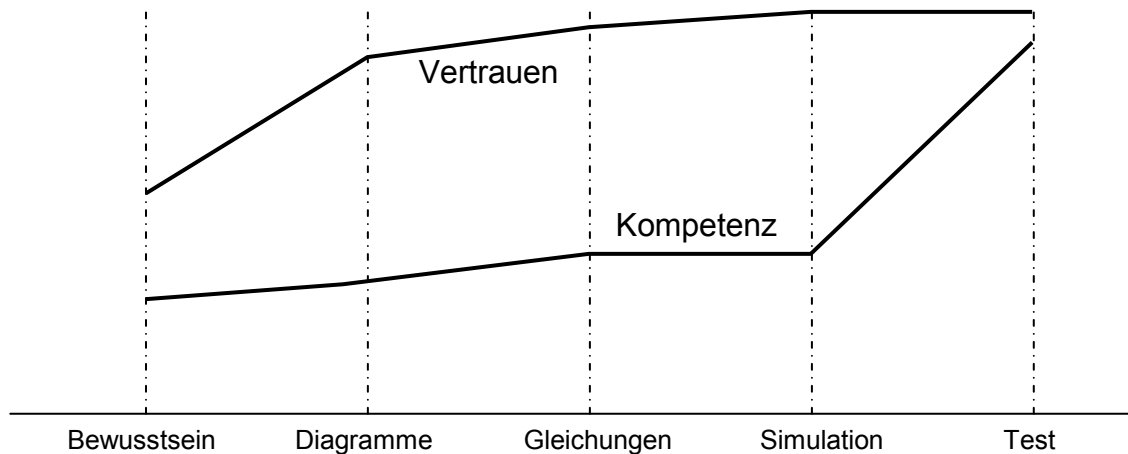


Abbildung 6: *Vertrauen in das Modell und Kompetenzzuwachs während einer System-Dynamics-Modellierung (angelehnt an PETERSON & EBERLEIN 1994)*

Basierend auf dem Fünf-Schritte-Vorgehen bei der Nutzung der System-Dynamics-Methode haben Peterson und Eberlein eine Untersuchung hinsichtlich des Vertrauens- und Kompetenzzuwachses in das System-Dynamics-Modell durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 veranschaulicht. Hierbei wird deutlich, dass in den ersten Phasen der Modellierung das Vertrauen in das Modell überproportional zur Fachkompetenz steigt und eigentlich nicht gerechtfertigt ist. Hingegen trägt die Phase zwischen Simulation und Test, also die Auseinandersetzung mit dem Verhalten des Systems vor dem Hintergrund verschiedener Strategien oder Aktivitäten, den größten Anteil am Kompetenzzuwachs.

Coyle stellt den Aktivitäten im System-Dynamics-Prozess (linke Seite) die Ergebnisse hinsichtlich des Wissenszuwachses gegenüber (rechte Seite) (Abbildung 7). Insbesondere der Zusammenhang zwischen Optimierungssimulation und robusten Annahmen wird über den Doppelpfeil als iterativer in beide Richtungen ablaufender Prozess dargestellt. Dies verdeutlicht, dass im Rahmen eines System Dynamic-Projektes die Modelloptimierung durch wiederholte Simulationsläufe erreicht wird.

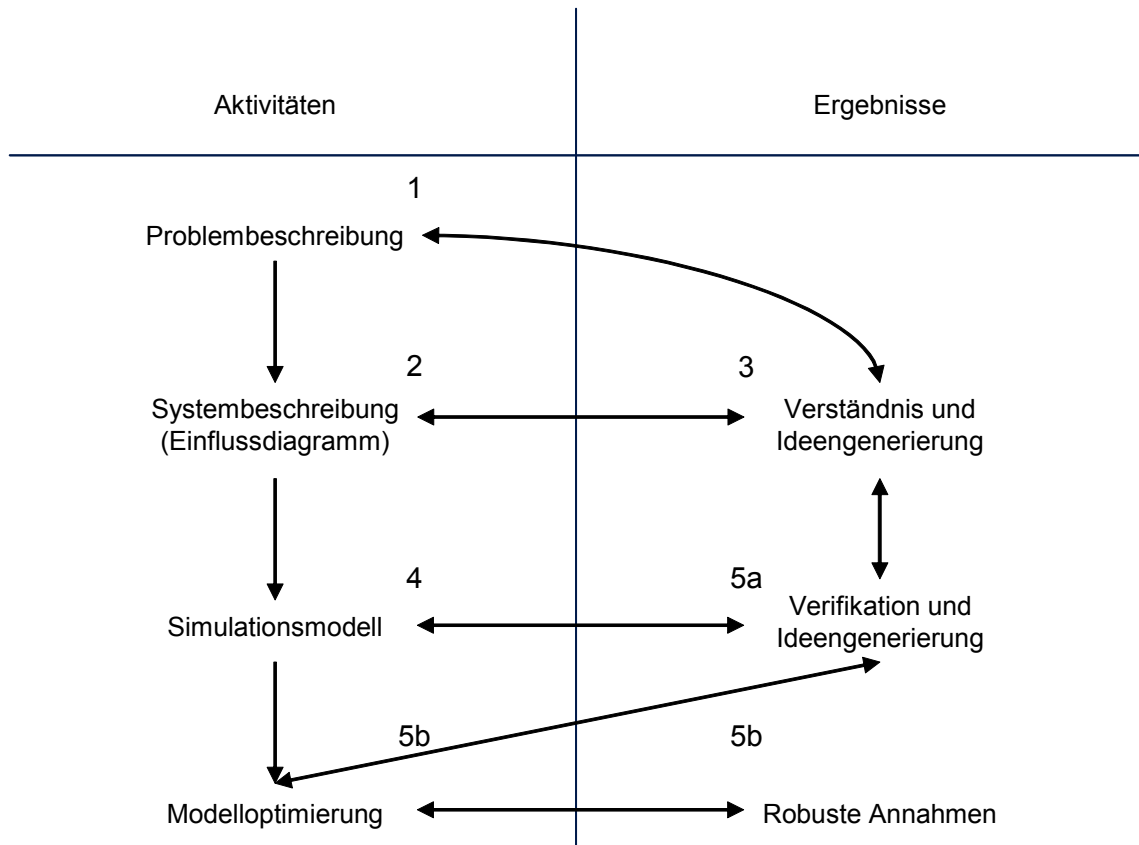


Abbildung 7: Gegenüberstellung von Aktivitäten und Ergebnissen im System-Dynamics-Prozess (in Anlehnung an COYLE 1996, S. 14)

### 2.2.6 Qualitative Modellierung

Die *qualitative Modellierung* ist im Vorgehen von Forrester und Coyle der zweite Schritt. In dieser Phase der Modellbildung werden nur die grundlegenden Zusammenhänge der Elemente und damit die grobe Systemstruktur definiert. Die exakte quantitative Definition der Zusammenhänge erfolgt erst im nächsten Schritt. In der qualitativen Modellierung werden die Schlüsselvariablen gesucht und in Wirkzusammenhänge gestellt. Diese Wirkzusammenhänge werden in Kausaldiagrammen abgebildet. Basis für die Erstellung der Kausaldiagramme sind im Expertenkreis erarbeitete Verbalmodelle. Somit stellen die qualitativen Modelle durch die Visualisierung der Verbalmodelle die ersten formalen Modelle dar. In den Kausaldiagrammen wird das System als Ganzes in seinen Grenzen definiert.

### Kausaldiagramme

Kausaldiagramme sind die Grundlage für eine qualitative Modellierung. In ihnen werden die entscheidenden kausalen Zusammenhänge der Schlüsselvariablen eines Modells identifiziert und visualisiert. Damit können Sie vor allem für die Methode des *System Thinking* verwendet werden, das Forrester als Vorstufe zu *System Dynamics* ansieht. Kennzeichnend für Kausaldiagramme ist die Identifikation und Untersuchung in sich geschlossener Wirkungsketten oder auch Rückkopplungsschleifen (engl.: *Feedback Loops*). Unter dem Begriff *Feedback* wird i. Allg. die Rückwirkung einer Größe auf sich selbst verstanden. Dies kann direkt oder über mehrere Zwischenschritte realisiert sein. Forrester beschreibt Rückkopplungen folgendermaßen:

*„Die Rückkopplungsschleife ist ein geschlossener Pfad, der die Entscheidung, die eine Handlung steuert, den Zustand des Systems und die Informationen über diesen Zustand, die zum Entscheidungspunkt zurückgemeldet werden, verbindet“ (FORRESTER 1972a, S. 19).*

In einem System beeinflussen sich also die Systemgrößen gegenseitig, indem sie geschlossene Wirkungsketten mit anderen Systemgrößen bilden. Unterschieden werden dabei Loops mit positiven (reinforcing loops) und negativen (balancing loops) Polaritäten. Als Notation zur Anfertigung von Kausaldiagrammen hat sich folgende Darstellungskonvention (s. Abbildung 8) eingebürgert:

Positive Rückkopplungsschleife (Reinforcing Loop)	+      oder      R
Negative Rückkopplungsschleife (Balancing Loop)	-      oder      B
Kausaler Zusammenhang	
Wirkungsart	+      oder      -

Abbildung 8: Notation für Kausaldiagramme (in Anlehnung an STERMAN 2000, S. 138)

Zur Erläuterung von Rückkopplungsschleifen verwendet Sterman zwei anschauliche Beispiele (s. Abbildung 9). Eine positive Feedbackschleife wird durch die



Geburtenrate und die Population beschrieben. Je größer die Geburtenrate ist, desto größer ist die Population, desto größer ist die Geburtenrate usw. Dagegen entsteht aus dem Verhältnis von Population und Todesrate eine negative Feedbackschleife: Je größer die Population ist, desto größer ist die Todesrate, desto kleiner die Population, desto kleiner (aber immer noch vorhanden) die Todesrate, desto kleiner die Population usw. Von Durchlauf zu Durchlauf der Schleife verändern sich die beiden Parameter *Population* und *Todesrate* immer weniger, bis sich ein stabiles Gleichgewicht im System einstellt (vgl. STERMAN 2000, S. 138).

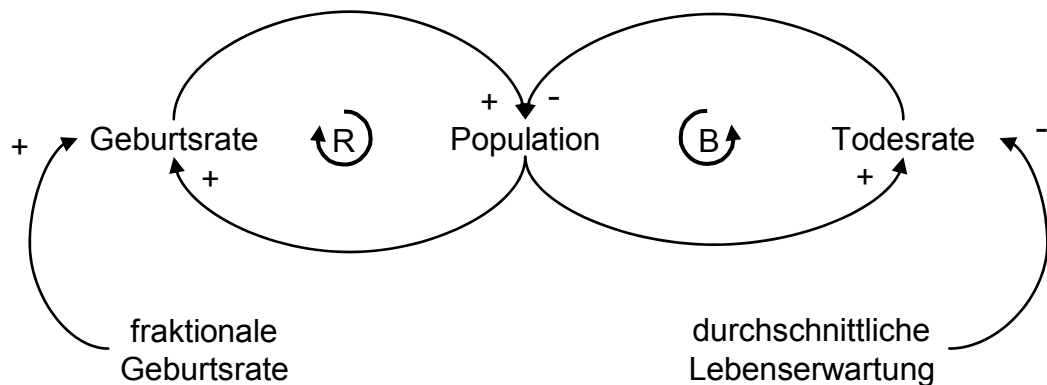


Abbildung 9: Beispiel für ein Kausaldiagramm (in Anlehnung an STERMAN 2000, S. 138)

Schöneborn hat ein vierstufiges Vorgehen zur Erstellung von Wirkungsdiagrammen definiert (vgl. SCHÖNEBORN 2004):

1. Aufführen der wesentlichen Einflussfaktoren oder Größen, die direkt auf die Zielgröße wirken,
2. Ergänzen um Einflüsse auf diese Einflussfaktoren,
3. Erfassen der rückkoppelnden Wirkungen der Zielgröße auf die Einflussfaktoren,
4. Analyse der Wirkungen:
  - a. Art des Einflusses: positiv oder negativ
  - b. Zeitlicher Verlauf: mit oder ohne Zeitverzögerung
  - c. Intensität der Wirkung

Neben diesen kausalen Zusammenhängen sind bei der Erstellung von Kausaldiagrammen auch die das System betreffenden exogenen und endogenen Größen zu

identifizieren. Als exogene Größen werden Variablen oder Konstanten, die von der Systemumgebung definiert werden, bezeichnet. Sie stellen die Verbindung des Systems zur Umwelt her und sind für den Anwender die Schnittstelle für die verschiedenen Simulationsmodi. Auf endogene Größen hat der Anwender nur während der Initialisierung eines Modells Zugriff. Die endogenen Größen sind ansonsten nur vom internen Verhalten des Systems abhängig und können nicht weiter beeinflusst werden (FUNKE 1992, S. 76). Sie repräsentieren das eigene, dynamische Verhalten des Systems.

### 2.2.7 Quantitative Modellierung

Die *quantitative Modellierung* eines Systems ist die Umsetzung des Kausaldiagramms der qualitativen Modellierung in ein Flussdiagramm und entspricht Schritt vier des Vorgehens nach Coyle. Die quantitative Modellierung ist die traditionelle Modellierungstechnik der Methode System Dynamics. Die Darstellung in Flussdiagrammen und deren Simulation ermöglicht ein tieferes Systemverständnis. Lager (Stocks oder Level) und Raten (Flows) dienen dabei zur Beschreibung der Systemzusammenhänge und zeigen, wie die Wirkungsketten zum nicht-linearen und nicht-intuitiven Verhalten von Systemen führen.

Zur Erstellung des Flussdiagramms sind die einzelnen Größen des Kausaldiagramms als Bestands- und Flussgrößen sowie in Hilfsvariablen und Konstanten zu definieren. Während die drei erstgenannten während des Simulationslaufes veränderlich sind, behalten die Konstanten ihre Werte. Ebenso werden die Beziehungen zwischen den einzelnen Größen mathematisch definiert und die Parameter kalibriert.

#### Flussdiagramme

Flussdiagramme werden durch Standardsymbole dargestellt, die Wasserreservoirs und Schieberegler ähneln und über diese Visualisierung ihre jeweilige Bedeutung kommunizieren (vgl. Abbildung 10). Bestandsgrößen oder Zustandsgrößen im Flussdiagramm sind die Größen, die sich ausgehend von einem festzulegenden Anfangswert im Zeitverlauf der Simulation durch Zuflüsse vergrößern und durch Abflüsse verringern (vgl. OSSIMITZ 2006, S. 1). Sie repräsentieren damit den jeweiligen Zustand des Systems. Bestandsgrößen werden als Wasserreservoir gezeichnet. Flussgrößen bestimmen den jeweiligen Zu- und Abfluss von Bestandsgrößen und werden in der Bestandsveränderung über der Zeit gemessen. Sie erscheinen in Form stilisierter Schiebereglerventile, die über ihre

Öffnung den Durchfluss einer Menge mitbestimmen. Milling definiert die Aufgabe von Flussgrößen wie folgt:

*„Flussgrößen repräsentieren Verhaltensregeln; sie bestimmen, wie Informationen in Aktionen transformiert werden. Sie sind automatisierte Entscheidungen, die nach vorgegebenen Regeln vorgehen und bestimmte Aktionen auslösen“ (MILLING 1984, S. 67).*

Milling verdeutlicht den Unterschied zwischen Bestandsgrößen und Flussgrößen auf mathematischer Ebene. So sind Flussgrößen die Integranden der Bestände und verändern dadurch den Wert der Zustandsgrößen.

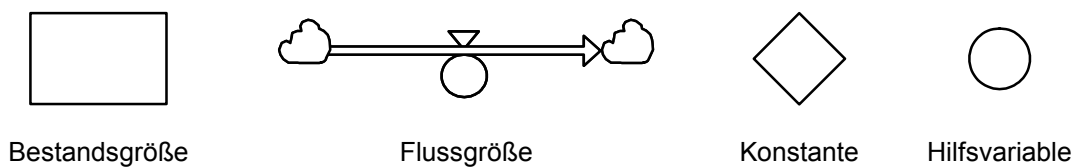


Abbildung 10: Notation im Flussdiagramm

Hilfsvariablen sind weder Bestands- noch Flussgrößen und dienen dem Informationsfluss und der mathematisch korrekten Formulierung. Weiterhin stellen Variablen die Schnittstelle zur Umwelt von Systemen dar und sind somit die Ansatzpunkte für Simulationsläufe und -analysen. Konstanten sind fixe Größen, die im Simulationslauf nicht geändert, zu Beginn der Simulation jedoch initialisiert werden können.

Nachdem alle Größen definiert sind, ist deren zunächst nur qualitativ dargestellter Zusammenhang in mathematischen Funktionen zu beschreiben. Für real existierende und erkennbare mathematische Zusammenhänge ist dies leicht zu realisieren. Für den Einsatz von System Dynamics in nicht technischen Zusammenhängen, in denen auch sogenannte weiche, nicht messbare Faktoren eine Rolle spielen, ist dies jedoch schwierig, insbesondere wenn die „weichen“ Faktoren das Verhalten des Systems dominant beeinflussen. Da jedes System unterschiedlich ist und auch je nach dem Simulationsziel unterschiedlich modelliert werden kann, existieren keine allgemeingültigen Regeln für die Erstellung mathematischer Gleichungen für Interdependenzen. Dies ist für die Umwandlung der qualitativen Kausaldiagramme in quantitative Flussdiagramme die größte Hürde. Dennoch ist das Übergehen eines Wirkzusammenhangs wenig wissenschaftlich (STERMAN 1991, S. 12). Die einzige Möglichkeit zur Annäherung an eine mathematische Gleichung besteht darin, aus einem bestehenden Fundus an Gleichungen für ähnliche Interdependenzen zu schöpfen und sich mit Sensitivitätsuntersuchungen an eine weitestgehend genaue Form sukzessive heranzuarbeiten.

### 2.2.8 Mathematische Grundlagen von System Dynamics

Wie in Abschnitt 2.2.7 erläutert ist, bestimmen die Flussgrößen den jeweiligen Zu- und Abfluss von Bestandsgrößen und werden in einer Bestandsveränderung über der Zeit gemessen. Eine Flussgröße ist damit die erste Ableitung einer Bestandsgröße nach der Zeit.

$$F(t) = dB(t)/dt \quad (1)$$

$F$  Flussgröße

$B$  Bestandsgröße

*Formel 1: Zusammenhang zwischen Flussgröße  $F$  und Bestandsgröße  $B$*

Der Gesamtbestand einer Bestandsgröße  $B$  in einem Zeitintervall ist damit das Integral der Flussgröße  $F$  und berechnet sich zum Zeitpunkt  $T$  aus:

$$B(T) = \int_0^T F(t)dt \quad (2)$$

$F$  Flussgröße

$B$  Bestandsgröße

*Formel 2: Zusammenhang zwischen Bestandsgröße  $B$  und Flussgröße  $F$*

Um mit einem Anfangsbestand und einem Endbestand sowie der Möglichkeit von Zu- und Abflüssen arbeiten zu können, berechnet sich der Gesamtbestand  $B$  zum Zeitpunkt  $T$  aus einer integralen Differenzbetrachtung:

$$B(T) = B(A) \int_A^T [Zufluss(t) - Abfluss(t)]dt \quad (3)$$

$B$  Bestandsgröße

$A$  Initialzustand

*Formel 3: Bestandsberechnung mit Initialwert  $A$  sowie Zu- und Abflüssen*

In der System-Dynamics-Visualisierung wird dieser mathematische Zusammenhang folgendermaßen visualisiert (s. Abbildung 11). Die Bestandsgröße wird als Viereck mit einem zu- und einem abfließendem Pfeil dargestellt. Die Pfeile kommen von oder führen zu den Schieberegler (Flussgrößen), die den Fluss in das System oder aus dem System heraus regeln.

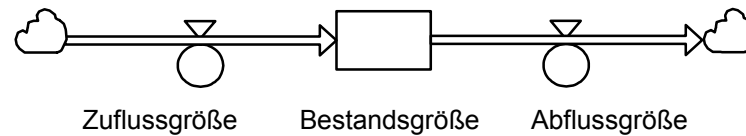


Abbildung 11: Visualisierung der Bestands- und Flussgrößenbeziehung in System Dynamics

## 2.3 Zwischenfazit

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Grundlagen für die Modellierungsmethode dieser Arbeit erläutert. Ein System besteht in seiner Grundstruktur aus mehreren Elementen und deren Interdependenzen. Aus dieser Grundstruktur ergeben sich die Eigenschaften und Verhaltensweisen des Systems. Systeme unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Interaktion mit der Umwelt durch die Systemgrenzen und generieren für bestimmte Inputgrößen bestimmte Outputgrößen in Form von Material-, Informations- oder Energieflüssen. Die Komplexität von Systemen definiert sich über die räumlichen und zeitlichen Prozessstrukturen, die wiederum auf den Interdependenzen der Elemente oder Subsysteme beruhen.

Ein System erfüllt eine bestimmte Funktion und hat damit einen Zweck, die Anordnung der Elemente und deren Interdependenzen bestimmen die Funktion des Systems. Es ist nicht teilbar, ohne seine Funktion zu verlieren. Es wird unterschieden zwischen offenen, geschlossenen und teil-offenen Systemen. Teil-offene Systeme besitzen definierte Schnittstellen zur Umwelt und haben über Rückkopplungsschleifen (feedback-loops) einen Regelkreischarakter. Ein System kann in einem Modell abgebildet werden.

Modelle sind theoretische Konstrukte, die einem Untersuchungsgegenstand in bestimmten Eigenschaften oder Relationen entsprechen. Modelle werden verwendet, um mithilfe von Untersuchungen am Modell Aufschlüsse über die Struktur, die Funktion oder das Verhalten des Untersuchungsgegenstands zu erlangen. In formalen Modellen werden dabei die strukturellen Modellgegebenheiten über mathematische Formeln ausgedrückt.

System Dynamics nutzt Modelle, um das Verhalten von komplexen Systemen zu simulieren und so ein tieferes Systemverständnis des Untersuchungsgegenstandes zu erlangen. Nach einer qualitativen Modellierung kann so auch eine quantitative Modellierung auf mathematischer Basis erfolgen, mit deren Hilfe unter getroffenen Annahmen ein Systemverhalten simuliert werden kann.

## **2 Grundlagen**

---

Dies soll auf die Einführung von Lean Production angewendet werden. Daher schließt sich im Kapitel 3 eine Ausführung zu Lean-Production-Methoden an.

## 3 Grundlagen von Lean Production

### 3.1 Einführung in Lean Production

#### 3.1.1 Historie von Lean Production

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und Prinzipien von *Lean Production* vorgestellt, die für die Arbeit wesentlichen Lean-Production-Begriffe definiert und die für das Modell ausgewählten Methoden beschrieben.

Die Geschichte von *Lean Production* beginnt bei Henry Ford und seinen Überlegungen zur Gestaltung wertschöpfender Prozesse in Unternehmen. Ford benennt die Fokussierung auf Kosten als die wesentliche Grundlage für die Gestaltung der Produktion.

*„Normalerweise werden die finanziellen Aufwendungen für Rohmaterial oder Fertigwarenbestände als aktives Kapital betrachtet. Es ist zwar im Unternehmen investiert, aber ein Bestand an Rohmaterialien oder Fertigwaren ist eine Verschwendung, die gleich wie jede andere Verschwendung zu hohen Preisen und niedrigen Löhnen führt“ (FORD & CROWTHER 1926, S. 112)<sup>15</sup>.*

*Lean Production* ist die nach einer Studie von Womack und Jones (s. Abschnitt 1.2) eingeführte Bezeichnung für die Organisation von Produktionsstätten nach dem Vorbild des Toyota-Produktionssystems (TPS) mit einer konsequenten Ausrichtung auf Kostensenkung durch Verschwendungselimination (vgl. KRAFCIK & MACDUFFIE 1989, WOMACK et al. 1990, S. 10). Dabei ist es nicht das Ziel, Personal einzusparen, sondern die Produktionskapazität zu erhöhen bzw. geschaffene freie Kapazität der Mitarbeiter für Verbesserungen oder neue Produkte bereit zu stellen (LIKER 2004). Das TPS ist kein fest gefügtes System oder eine final definierte Sammlung an Methoden, sondern vielmehr eine Einstellung zur täglichen Arbeit. *Lean Production* stellt ein holistisches System dar, das darauf abzielt, eine Kultur der kontinuierlichen Verbesserung im Unternehmen zu leben und die tägliche Arbeit prozessorientiert zu gestalten und

---

<sup>15</sup> “Ordinarily, money put into raw materials or into finished stock is thought of as live money. It is money in the business, it is true, but having a stock of raw material or finished goods in excess of requirements is waste - which, like every other waste, turns up in high prices and low wages.”

durchzuführen (LIKER 1997a, S. IX). Wichtiger Grundsatz ist hierbei die Kundenorientierung, die auch die Grundlage des Pullsystems ist, mit welchem Lean Production oft gleich gesetzt wird (AHLSTRÖM & KARLSSON 1996, S. 45). Die Einführung von Lean Production in der Produktion bewirkt eine Fokussierung auf die exakte Belieferung der Kunden in zeitlicher, qualitativer und kostenorientierter Dimension (vgl. WOMACK et al. 1990, WOMACK & JONES 1996).

Für exakte und sehr detaillierte Ausführungen zum TPS und Lean Production sei neben dem umfangreichen Literaturverzeichnis im Anhang dieser Arbeit auf folgende grundlegende Literatur hingewiesen: LIKER 2004, LIKER & HOSEUS 2008, MONDEN 1998, OHNO 1988, SCHONBERGER 1986, SHINGO 1989, SUZAKI 1983.

#### 3.1.2 Toyota-Produktionssystem - TPS

Das TPS ist „eine Fertigungsphilosophie, die durch die Beseitigung von Verschwendungen die Durchlaufzeit vom Kundenauftragseingang bis zur Auslieferung verkürzt“ (LIKER 1997b, S. 7).<sup>16</sup>

In der Literatur werden zur Definition des TPS bzw. von Lean Production i.d.R. deren verschiedene Bestandteile in Form einzelner Methoden herangezogen, die für das TPS charakteristisch sind (vgl. MONDEN 1998, S. 4 und OELTJENBRUNS 2000, S. 275). Ziel des TPS und damit auch der Anwendung dieser Methoden ist die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Produktion durch Kostenreduktion. Der Fokus liegt auf der Vermeidung von Verschwendung, der sogenannten drei M: *Muda* (jap., der Eliminierung von Verschwendung), *Mura* (jap., ungleichmäßiger Produktionsauslastung) und *Muri* (jap., Überbeanspruchung) (OHNO 1993, S. 19).

In Abbildung 12 ist die Basis des TPS nach Dennis in Form des bekannten *TPS-Tempels* dargestellt. Das Fundament des Tempels bildet die Fokussierung auf stabile und standardisierte Prozesse. Auf diesem Fundament fußen die beiden Säulen Just in Time (s. Abschnitt 3.2.2.6) und Autonomation (s. Abschnitt 3.2.4.1) die beide dem Ziel der Kundenorientierung dienen. Dieses kann durch folgenden Leitsatz umschrieben werden: „Die höchste Qualität zu niedrigsten Kosten bei kürzesten Lieferzeiten und kontinuierlicher Beseitigung von Ver-

---

<sup>16</sup> „A manufacturing philosophy that shortens the time line between the customer order and the shipment by eliminating waste.“



schwendung.“ Die Mitarbeiter stehen im Mittelpunkt des TPS, da die Gestaltung ihrer täglichen Arbeit über die Zielerreichung entscheidet.

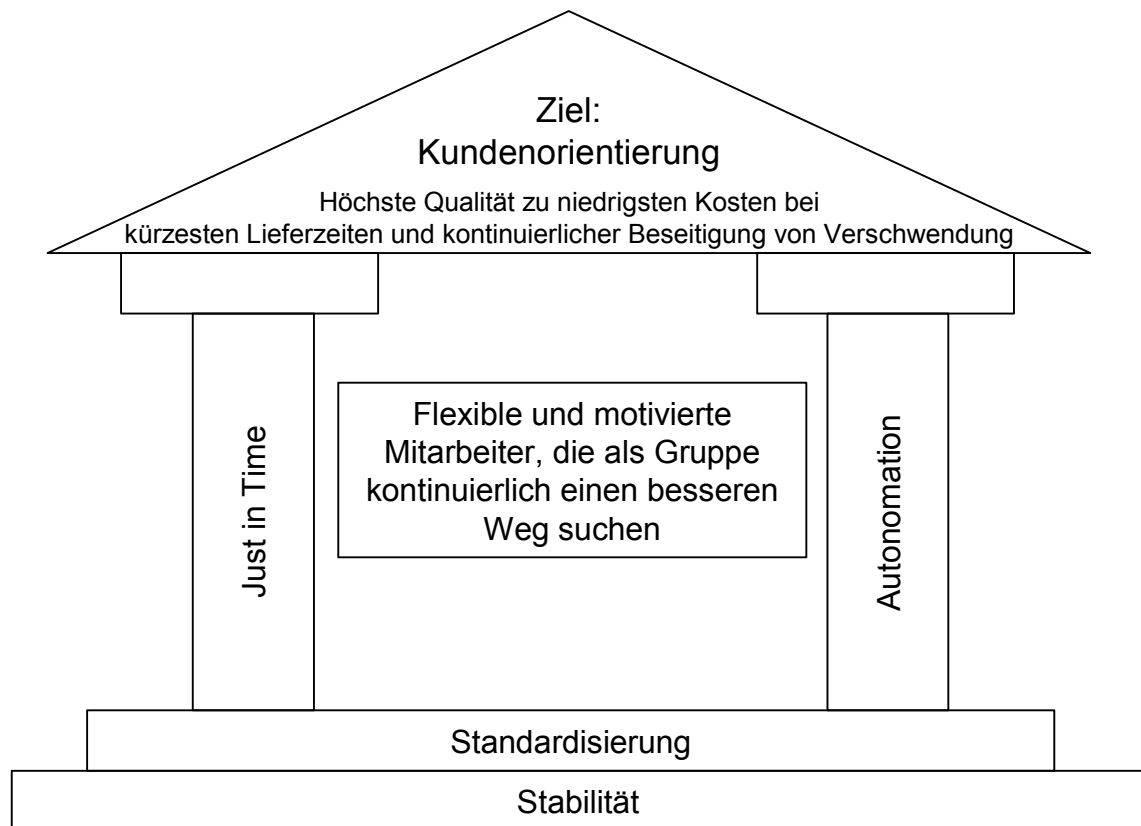


Abbildung 12: Die Basis des Toyota-Produktionssystems (nach DENNIS 2002, S. 18).

Mittlerweile werden unter Lean Production weitere Aspekte subsummiert. Diese sind nach Womack vor allem das Kunden-Lieferanten-Verhältnis (WOMACK et al. 1990, S. 142 ff.) und die Führung im Projektteam (WOMACK et al. 1990, S. 112 f.). Eigenschaften des Verhältnisses zwischen einem Kunden und seinen Lieferanten sind eine enge Verzahnung der jeweiligen Aktivitäten, eine eng verflochtene Kapitalstruktur sowie der intensive Austausch von Wissen und Personal. Nicht zuletzt auch durch die wechselseitigen Unternehmensbeteiligungen hat jedes Unternehmen im Netzwerk ein vitales Interesse am unternehmerischen Erfolg der anderen Partnerunternehmen im Netzwerk - sie werden tatsächlich als Partner betrachtet.

Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf die Elemente, Methoden und Werkzeuge des TPS, die im Folgenden mit „Lean-Production-Methoden“ bezeichnet sind.

#### 3.1.3 Retrogrades Kostenprinzip

Die Fokussierung auf die Kosten als wesentliches Merkmal von Lean Production leitet sich aus dem Prinzip der retrograden Gewinnermittlung ab. Toyota argumentiert, dass der Verkaufspreis der Produkte in einem vom Käufer dominierten Markt nicht mittels einer progressiven Kalkulation zu ermitteln ist. Die progressive Kalkulation ist ein in westlichen Unternehmen traditionell angewandtes Verfahren, um den Verkaufspreis eines Produktes zu bestimmen. Dabei wird der Verkaufspreis aus der Addition der ermittelten Produktionskosten und dem angestrebten Gewinn errechnet (vgl. BROCKHAUS-WIRTSCHAFT 2004).

Toyota geht vielmehr davon aus, dass in einem käuferdominierten Markt der Kunde den Endverkaufspreis festlegt und der Gewinn des Unternehmens sich aus der Differenz aus Verkaufspreis und Kosten ergibt. Dem Unternehmer bleibt bei dieser Betrachtung als einzig zu beeinflussende Variable die Kosten, um seinen Gewinn zu erhöhen (s. Abbildung 13). Deswegen ist bei Toyota die Gewinnermittlung in folgender Form definiert:

Marktpreis - Kosten = Unternehmenserfolg (vgl. DENNIS 2002, S. 14 f.).

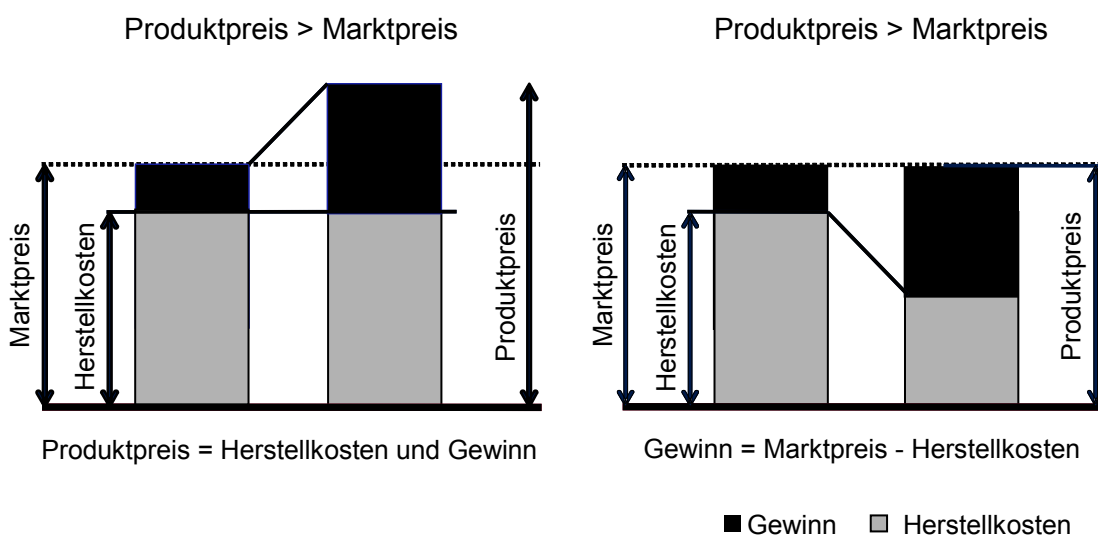


Abbildung 13: Zuschlagskalkulation vs. Prinzip der Kostenreduzierung (nach SHINGO 1993, S. 179 angelehnt an OELTJENBRUNS 2000, S. 31)

Bei einem vom Markt über die Abnahme festgelegten Preis besteht die einzige Möglichkeit, den Unternehmenserfolg zu erhöhen darin, die Kosten zu verringern. Um diese zu senken, hat Toyota ein auf die Bedürfnisse von Toyota passendes System zur Verschwendungsvermeidung entwickelt: das TPS. Zu dem

Zusammenhang zwischen Kosten und der Vermeidung von Verschwendung schreibt Shingo:

*„Jeder Betrieb kann Anstrengungen unternehmen, Verschwendungen zu beseitigen; aber solange man damit arbeitet, die Gewinne zu den Kosten zu addieren, um die Preise zu ermitteln, sind diese Bemühungen reiner Selbstbetrug. Nur wenn Kostenverringerungen zum bestimmenden Element der Gewinnoptimierung werden, wird ein Unternehmen nachhaltig motiviert sein, Verschwendungen gründlich zu vermeiden“ (SHINGO 1993, S. 44 f.).*

### 3.1.4 Vermeidung von Verschwendung

Durch die Einführung und Nutzung geeigneter Methoden soll die Eliminierung von Verschwendung vorangetrieben werden. Ziel ist es, alle Formen und Arten von Verschwendung zu eliminieren und somit die Effizienz des gesamten Produktionssystems zu gewährleisten. Das TPS unterscheidet drei unterschiedliche Formen von Verschwendung:

#### **Eliminierung der Tätigkeiten ohne Wertschöpfung - Muda**

Alle Tätigkeiten im Betrieb setzen sich aus wertschöpfenden Tätigkeiten, unterstützenden Tätigkeiten und aus nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zusammen. Unterstützende Tätigkeiten sind solche, welche für den Produktionsprozess erforderlich sind, jedoch nicht unmittelbar zum Wertzuwachs des Produktes beitragen. Nicht wertschöpfende Tätigkeiten bedeuten Verschwendung und sind daher nach der Philosophie von TPS zu beseitigen. Verschwendung sind damit alle Tätigkeiten, die Fläche in Anspruch nehmen, Aufwand oder Zeit erfordern, jedoch nicht den Wert des Produkts steigern. Durch Lean-Production-Methoden werden nicht wertschöpfende Tätigkeiten sichtbar gemacht und dann eliminiert (MONDEN 1998, S. 36).

#### **Überlastung - Muri**

Unter Verlusten durch Überlastung (*Muri*) werden sowohl personelle Überbeanspruchungen mit der Folge von Übermüdung, Stress, Betriebsklimaverlust und Fehlerzunahme verstanden als auch Anlagenfehlplanungen wie überhöhtem Maschinentakt, zu kurzen Umrüstphasen usw.

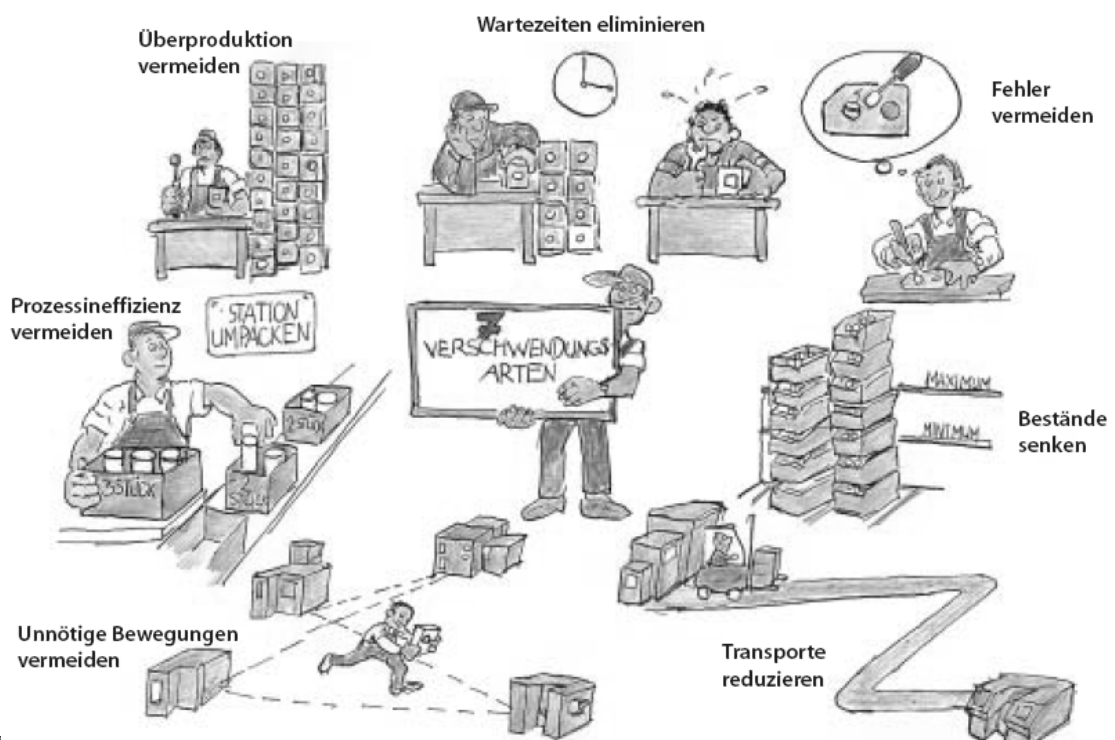
## 3 Grundlagen von Lean Production

### Unausgeglichenheit - Mura

Mura ist eine Kombination von Muda und Muri. Unter Unausgeglichenheit (*Mura*) werden Verluste verstanden, die z.B. die Fertigungssteuerung durch eine Auftragsbelastung verursacht, die nicht an einem ausgeglichenen Kapazitätsbedarf orientiert ist.

### Sieben Arten der Verschwendung

Das TPS definiert *sieben Arten der Verschwendung (Muda)*. Diese sind in Abbildung 14 dargestellt. Die sieben Verschwendungsarten sind Ausgangsbasis der Initiativen zur Kostenreduktion und bieten eine strukturierte Übersicht zur Identifikation möglicher Verbesserungen für die Mitarbeiter (vgl. OHNO 1993, S. 44 ff., SHINGO 1993, S. 259).



Abbil

*KPS-Handbuchs der Knorr-Bremse Sfs GmbH (KNORR-BREMSE 2002, S. 37)*

### 3.1.5 Pull-Prinzip

Eines der Grundprinzipien von Lean Production ist die Produktion im Fluss (s. Abschnitt 3.2.2.1). *Produktion im Fluss* heißt, die Produktion eines Produktes über alle Taktplätze bis zum Versand mit definierten minimalen Beständen zwi-

schen den Taktplätzen zu vollziehen (WOMACK et al. 1990). Für die Planung und Steuerung dieser im Fluss angeordneten Wertschöpfungsprozesse können unterschiedliche Konzepte zum Einsatz kommen. Prinzipiell lassen sich diese danach kategorisieren, ob Produktionsvorgänge durch einen Plan oder einen Bedarf ausgelöst werden. Im ersten Fall spricht man vom Push-Prinzip, im zweiten vom Pull-Prinzip (vgl. TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 192).

Nach dem *Push-Prinzip* wird für jede Produktionsstufe eine detaillierte Planvorgabe bereitgestellt, nach der zu produzieren ist. Im *Pull-Prinzip* hingegen wird nur noch die Produktion der letzten Stufe (Endmontage) sorgfältig geplant und vorbestimmt. Über kaskadenförmige Produktions- und Auslieferungsanweisungen werden von den nach- zu den vorgelagerten Stellen Bedarfe gemeldet und die Nachproduktion veranlasst. Die grundsätzliche Idee des *Pull-Prinzips* ist es, dass in jedem Prozess nur genau die Menge an Erzeugnissen hergestellt wird, die von der nachfolgenden Stelle benötigt wird. Damit wird Verschwendung in Form von Überproduktion vermieden (vgl. WOMACK & JONES 1997, S. 393). Als klassische Ziele des Pull-Systems gelten (vgl. KIMURA & TERADA 1981):

- Die Entkopplung von Prozessen zur Vermeidung der Übertragung kurzfristiger unregelmäßiger Verbräuche,
- die Schwankungsreduktion der Bestände im Unternehmen für einen transparenten und verlässlichen Überblick über die Bestände und
- die Dezentralisierung der Produktionssteuerung und Übertragung der Verantwortung für die Steuerung an die Linie.

Chen und Podolsky unterstreichen die Eignung einer Pullsteuerung im Verhältnis zu einer Pushsteuerung vor dem Hintergrund der oben genannten Ziele:

*„Eine Pullsteuerung übertrifft deutlich die Reaktionsfähigkeit einer Pushsteuerung. Eine schnelle Reaktion auf Änderungen und Probleme, die im nachgelagerten Prozess aufgetaucht sind, ermöglicht die Abschaltung des vorgelagerten Prozesses. Dadurch wird ein Bestandsaufbau in der Produktion verhindert“ (CHEN & PODOLSKY 1993, S. 43).<sup>17</sup>*

---

<sup>17</sup> “Pull systems by far outreach the responsiveness of a push system. The responsiveness of the system to changes and problems that arise in upstream processes allows the downstream processes to be shut down. This prevents the accumulation of inventory on the plant floor.”

Als klassische Standardmethode zur Umsetzung des Pull-Prinzips gilt die Produktionssteuerung nach der Kanbanmethode (s. Abschnitt 3.2.2.7) im Unterschied zum klassischen Push-Prinzip, der Planung mit einem MRP-System. Daher wird Pull häufig mit Kanban oder einem „*Make to Order*“ System gleichgesetzt, was falsch ist. Richtig ist, dass Pull auch ohne ein Kanbansystem zu realisieren ist und dass in einem Pull-System vor allem kundenunspezifische Teile bis zu einer definierten Bestandsgröße vorgefertigt und bereitgestellt werden. Hopp und Spearman haben sich in einem Artikel mit dieser Problematik auseinandergesetzt und definieren das Pull-Prinzip daher auf Basis der definierten Kapazitätsgrenzen, die das System besitzt:

*“Ein Pull-System beschränkt explizit die Menge der momentan durchgeführten Arbeit im System. Standardmäßig heißt es dann, dass im Fall eines Push-Systems keine eindeutige Beschränkung der Arbeitsmenge existiert” (HOPP & SPEARMAN 2004).<sup>18</sup>*

Für weitere Details sei auf den Artikel von Hopp und Spearman verwiesen.

## 3.2 Lean-Production-Methoden

### 3.2.1 Allgemeine Einführung

Die in westlichen Unternehmen eingeführten Produktionssysteme basieren auf dem TPS und werden um weitere unternehmensspezifische Methoden angereichert. Jedes Unternehmen definiert dabei i.d.R. sein eigenes Produktionssystem, das auf die Bedürfnisse des Unternehmens abgestimmt ist. Obwohl diese unternehmensspezifischen Anpassungen betont werden, gibt es in der Darstellung der verschiedenen Produktionssysteme erstaunlich viele Analogien. In Abbildung 15 ist die Zuordnung von Lean-Production-Methoden zu den Basisgedanken des TPS in Anlehnung an DENNIS 2002 dargestellt. Die meisten Visualisierungen eines Lean-Production-Systems basieren auf diesem Tempelbild und unterscheiden sich von diesem durch die Anzahl der Säulen und in der Anordnung bzw. Konfiguration der verschiedenen Elemente. Die Elemente bzw. Module werden dabei in Methoden, Prinzipien und Werkzeuge gegliedert. Dombrowski hat sich

---

<sup>18</sup> “A pull production system is one that explicitly limits the amount of work in process that can be in the system. By default, this implies that a push production system is one that has no explicit limit on the amount of work in process that can be in the system”.

mit den Darstellungsformen von Lean-Production-Systemen intensiver auseinandergesetzt (vgl. DOMBROWSKI et al. 2006).

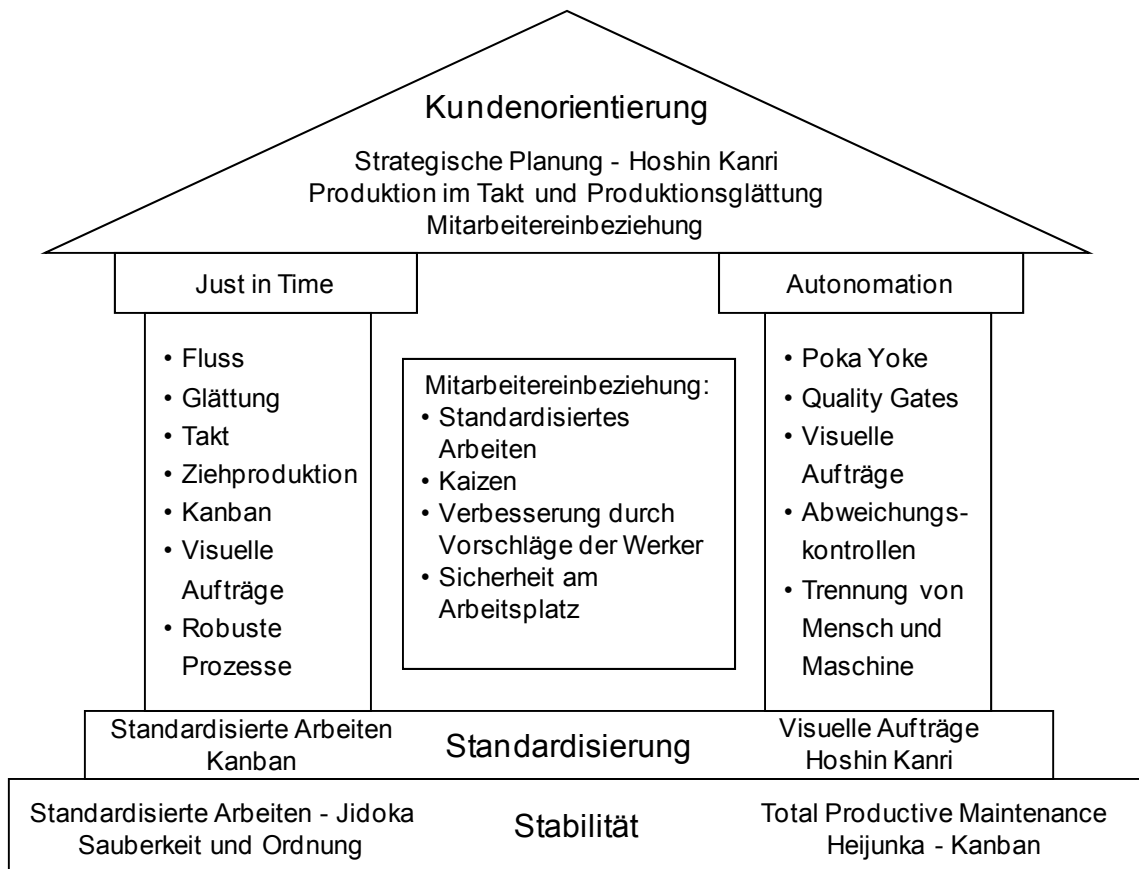


Abbildung 15: Zuordnung von Methoden und Zielen zu den prinzipiellen Überlegungen des TPS (nach DENNIS 2002, S. 19)

Als Untersuchungsraum der vorliegenden Arbeit wurden die wesentlichen Methoden des TPS ausgewählt. Diese bilden das Grundgerüst des TPS und sind in den Lean-Production-Systemen von größeren Unternehmen fast alle zu finden (vgl. HUSBY 2007). Nicht im Betrachtungsfokus dieser Arbeit liegt die Methode Six-Sigma. Über deren Zugehörigkeit zu Lean Production gibt es unterschiedliche Expertenmeinungen. Die Methode *Six-Sigma* stammt aus den USA und ist ein Werkzeug für das Qualitätsmanagement. Der Kernprozess von Six-Sigma ist der sogenannte DMAIC-Zyklus, der im Wesentlichen dem PDCA-Zyklus der Methode Kaizen entspricht (s. Abschnitt 3.2.4.8). Daraus und aus der Tatsache, dass Lean-Production-Experten in Unternehmen häufig auch Six-Sigma-Experten sind, ergeben sich Überschneidungen mit Lean Production. Der wesentliche Unterschied liegt im Fokus der beiden Konzepte. So ist Lean Production ein Ansatz, der das gesamte Unternehmen im Blick hat, Six-Sigma dagegen ist explizit auf das Qualitätsmanagement ausgerichtet (vgl. GEORGE 2002). Für weitere

Informationen zum Thema „Six-Sigma“ sei auf die Fachliteratur verwiesen. Einen schnellen Einstieg in die Thematik bietet das Handbuch „The Lean Six-Sigma Pocket Toolkit“ (GEORGE et al. 2005).

Für das in dieser Arbeit zu erstellende Simulationsmodell sind die wichtigsten Lean-Production-Methoden mit ihren Interdependenzen und mit ihren Auswirkungen auf Lean-Production-Zielsetzungen zu berücksichtigen. Die Methoden werden in dem folgenden Abschnitt knapp beschrieben.

### 3.2.2 Logistisch orientierte Methoden

#### 3.2.2.1 Produktion im Fluss

Ein wesentlicher Baustein des TPS sind kontinuierlich durch den Produktionsbereich fließende Materialien. Bei einem kontinuierlichen Fluss sind Anomalitäten im Prozess, also Störungen, sofort durch anwachsende Bestände vor der Störung zu erkennen. In der von Fords Ideen geprägten Massenfertigung findet sich diese Art der Fließfertigung ausschließlich am Endmontageband. Das Toyota-Produktionssystem hingegen geht davon aus, dass der gesamte Produktionsprozess vom Beginn an durch die kontinuierliche Fließfertigung bestimmt werden müsse und diese absolute Priorität habe (SHINGO 1993, S. 256). Der alleinige kontinuierliche Transport von Gütern hingegen, ohne den Bauteilen einen Wert hinzuzufügen, gilt als zu vermeidende Verschwendung (OHNO 1993, S. 149). Womack und Jones sprechen vom „*progressiven Erreichen von Aufgaben entlang der Wertschöpfung, damit ein Produkt von der Konstruktion bis zur Einführung, vom Auftrag bis zur Auslieferung und vom Rohmaterial bis in die Hände des Kunden ohne Unterbrechungen, Ausschuss oder Rückflüsse fortschreitet*“ (WOMACK & JONES 1997, S. 389). Eine solche Produktion im Fluss wird dadurch erreicht, dass die Werkstattfertigung aufgelöst wird zugunsten einer an der Bearbeitungsfolge orientierten Neuordnung der Maschinen. Die kontinuierliche Fließfertigung bestimmt im Toyota-Produktionssystem den gesamte Produktionsprozess vom Anfang bis zum Ende (SHINGO 1993, S. 256).

#### 3.2.2.2 Einzelstückfluss - one piece flow

Die Methode *Einzelstückfluss* oder *one piece flow* basiert auf dem Gedanken der Produktion im Fluss bei einer Losgröße von nur einem Stück. Die Massenproduktion nach Ford hingegen gründet auf dem Gedanken, dass die Umlagekosten



pro Stück nur durch hohe Stückzahlen und durch die Produktion in großen Losen zu minimieren sei. Diese Idee ist unter dem Fachbegriff *economies of scale* bekannt (JACOB & MEYER 2006, S. 3). Im TPS hingegen werden die Rüstzeiten reduziert, um auch in kleinen Losen oder idealerweise in Losgrößen von nur einem Stück wirtschaftlich fertigen zu können. Mit schnellen Werkzeugwechseln (vgl. Abschnitt 3.2.4.6) wird die Produktion kleiner Losgrößen wirtschaftlich. Die Durchlaufzeit nähert sich dabei im Idealfall der Bearbeitungszeit.

Im Verbund von kleinsten Losgrößen und der flussorientierten Aufstellung der Bearbeitungsschritte kann aber ohne Verluste nur das produziert werden, was der Kunde gerade abrufen will. Jeder Prozess bearbeitet dabei Einzelstücke nur nach dem Bedarf der nachfolgenden Station. Für den Transport gilt ebenfalls die Losgröße eins. Mit der Umstellung von der Losgrößenfertigung im Werkstattprinzip auf die Einzelstückproduktion, die auf realen Kundenabrufen basiert, ist dann das Material in der Produktion permanent im Fluss, ohne als Bestand zwischen Prozessen zwischengelagert zu werden (MONDEN 1998, S. 10; OELTJENBRUNS 2000, S. 35 ff.; SHINGO 1993, S. 256; WOMACK & JONES 1997, S. 389).

### 3.2.2.3 Flexibles Layout (U-Layout)

Die Anordnung von Prozessen an einem Arbeitsplatz in einem sogenannten *U-Layout* schafft Flexibilität bzgl. der Durchführung dieser Prozesse im Arbeitssystem. Der wesentliche Vorteil eines solchen Layouts besteht darin, dass die Standorte für An- und Ablieferung von Materialien gleich bleiben. Die Enden des Materialflusses befinden sich also immer an der gleichen Position, auch bei Änderungen in der Stückzahl (DENNIS 2002, S. 60). Das *U-Layout* selbst steht zunächst für eine relativ starre Anordnung der Teilbearbeitungsprozesse oder der zu bedienenden Maschinen in U-Form. Gepaart mit der flexiblen Zuordnung von Mitarbeitern zu den Tätigkeiten jedoch entsteht die gewünschte Flexibilität. Notwendig wird diese, wenn es zu Änderungen in der Nachfrage kommt. Sinkt die geforderte Ausbringungsmenge pro Zeit, so wird durch eine Verringerung der Mitarbeiterzahl innerhalb der U-Form die Ausbringung des Produktionsprozesses an die aktuellen Erfordernisse angepasst. Nichtsdestotrotz bleibt dieser weiterhin stabil. Bei einer unterschiedlichen Mitarbeiteranzahl im Arbeitssystem verändern sich dann nur die Laufwege der Mitarbeiter. Wie Abbildung 16 zeigt, bleiben in jeder Besetzung der U-Form die Laufwege der Mitarbeiter kurz (vgl. MONDEN 1998, S. 161). Ergänzt werden kann das U-Layout mit der Methode der variablen Übergabezonen. In diesen kann die Schnittstelle von Arbeitsplätzen im Arbeits-

system an eine unterschiedliche Mitarbeiterqualifikation oder -auslastung angepasst werden.

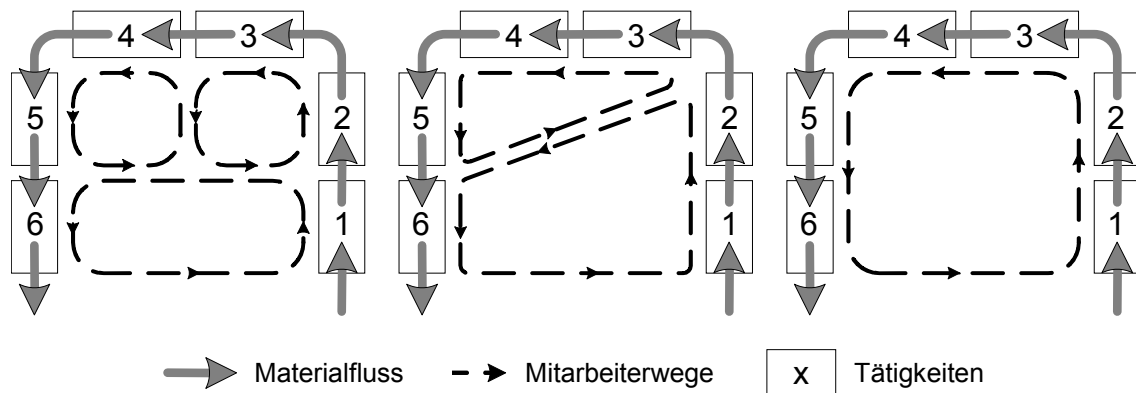


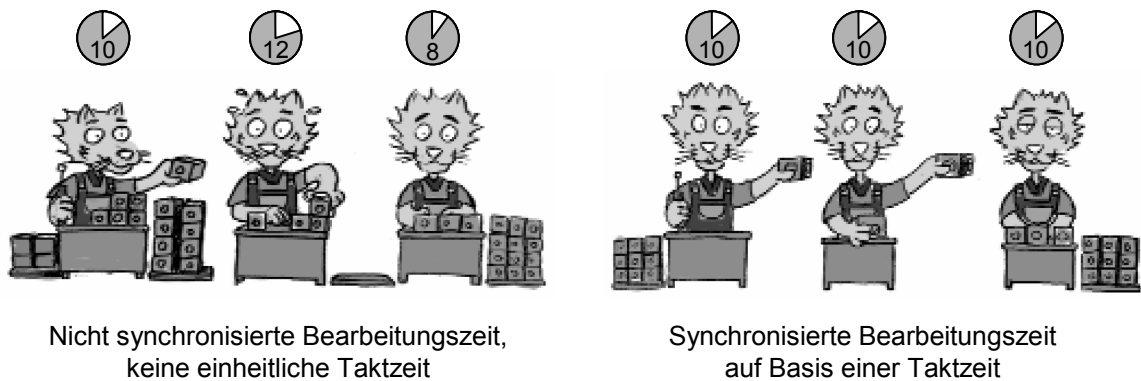
Abbildung 16: Flexibilität durch U-Layout

Mit der Methode *U-Layout* wird der Materialfluss von der Aufteilung der Arbeitsprozesse getrennt und eine Mehrmaschinen-Bedienung kann realisiert werden. Die Definition identischer U-Layouts ist Basis für ein modulares Werkslayout für häufige Produktwechsel. Weiterhin wird mit U-Layouts die Arbeit im one piece flow ausgeführt (vgl. WILDEMAN 2005, S. 115).

#### 3.2.2.4 Synchronisation / Taktzeit

*Synchronisation* bezieht sich auf die zeitliche Anordnung der Arbeitsprozesse. Ziel ist, dass die Gesamtbearbeitungsdauer an ein bestimmtes Zeitintervall, nämlich an die Taktzeit angepasst wird. Um dies zu erreichen, werden die Einzelprozesse zu längeren Gesamtbearbeitungsprozessen zusammengefasst, deren Dauer innerhalb der geforderten Taktzeit liegen. Die Methode Synchronisation verhindert damit den Aufbau von Lagerbeständen zwischen den Prozessen und ungleiche Arbeitsbelastungen durch unterschiedliche Gesamtbearbeitungszeiten. Für eine Anpassung der Ausbringungsmenge an die Kundenauftragslage kann die Taktzeit verkürzt oder verlängert werden. Die einem Takt zugeordneten Tätigkeiten bleiben jedoch bei der Veränderung der Taktzeit gleich. Kürzere Taktzeiten bedürfen dann einer höheren Leistung (Arbeit pro Zeit). Dafür werden die Bearbeitungsgeschwindigkeiten der Maschinen angepasst oder die Anzahl der Mitarbeiter im Takt variiert (MONDEN 1998, S. 64; SHINGO 1989, S. 29). In Abbildung 17 ist der Unterschied zwischen einer nicht synchronisierten und einer synchronisierten Prozesskette aufgezeigt. Die beiden wichtigsten Folgen der Einführung einer Synchronisation auf Basis einer einheitlichen Taktzeit sind die Vermeidung

von Beständen zwischen den Prozessen und die ausgeglichene Belastung der Mitarbeiter bzw. Maschinen, was einer besseren Gesamtauslastung dient.



*Abbildung 17: Nicht synchronisierte und synchronisierte Produktionsprozesse mit unterschiedlichen Bearbeitungszeiten und ungleicher Taktzeit im Vergleich zu einer Prozesskette mit einheitlicher Bearbeitungszeit und einheitlicher Taktzeit (nach KNORR-BREMSE 2002, S. 6 ff. und MAN NUTZFAHRZEUGE AG 2007 S. 20)*

### 3.2.2.5 Produktionsnivellierung (Heijunka)

Das Wort *Heijunka* kommt aus dem Japanischen und steht für ausbalancierte Produktion, nivellierte Produktion oder Produktionsglättung. Nach dem Grundprinzip der Produktionsglättung muss sich die „... *Prozesskapazität den Produktionserfordernissen unterordnen ... und darf diese nicht bestimmen*“. Für Shingo ist die gleichmäßige Produktionsweise einer der Grundpfeiler des TPS (SHINGO 1993, S. 254). Die zu produzierenden Produkte werden durch die Kundenaufträge definiert. Bei einer exakten Übertragung der Kundenaufträge auf die Produktionsplanung würden jedoch große Verschwendungen entstehen. Diese würden den Schwankungen der Kundenauftragseingänge folgen und zu überlasteten oder ungenutzten Maschinenkapazitäten, zu einer zu hohen Mitarbeiterzahl sowie zu unnötigen Beständen führen. Je volatil sich die Kundennachfrage verhält, desto größer sind die Ausmaße dieser Schwankungen, je weiter man stromaufwärts im Prozess geht. Hier setzt das Prinzip der Produktionsglättung an, indem es die Schwankungen am Endmontageband, also am Schrittmacherprozess, so gering wie möglich hält. Damit wird aus den vorgelagerten Prozessen kontinuierlich Material abgerufen und Produktionsspitzen werden vermieden (OHNO 1993, S. 155 f.; TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 44).

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

Die Nivellierung des Produktionsaufkommens geschieht über mehrfache Vorausplanungen des Bedarfs. Daraus ergeben sich die herzustellenden Mengen zunächst je Monat, anschließend erfolgt die detaillierte Berechnung bis hin zum Tagesproduktionsprogramm (vgl. Abbildung 18).

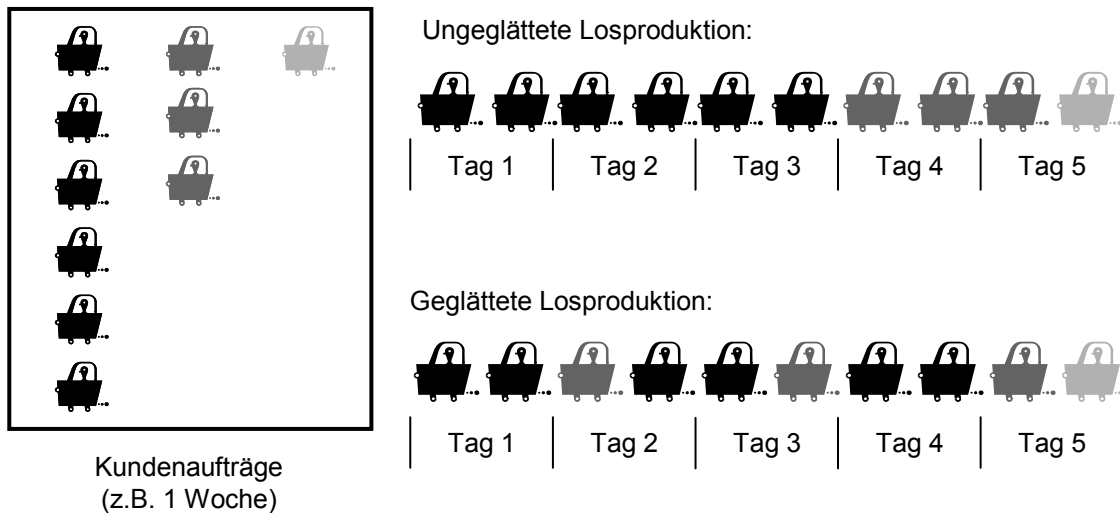


Abbildung 18: Auftragsabfolge mit ungeglätteter und geglätteter Produktion  
(angelehnt an LIKER 2004, S. 117 ff. nach REINHART 2007)

In Tabelle 4 ist der Ablauf der Realisierung einer geglätteten Produktion in vier Schritten nach Takeda dargestellt (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 48 ff.). Im ersten Schritt werden die monatlichen Bedarfe addiert und dann eine benötigte nivellierte Stückzahl pro Tag berechnet. Diese wird in den folgenden drei Schritten in immer kürzere Zyklen nach den Erfordernissen bzw. Möglichkeiten der Produktion unterteilt. Die ideale Einlastung ist erreicht, wenn die Reihenfolge der Produkte mit Losgröße eins variieren kann und die Sequenz der Einzelstückfertigung auf den nivellierten realen Kundenwünschen basiert.

Phasen	Bauteile	Stückzahl eines Loses	Zyklenverkürzung	Beschreibung
Nivellieren des Monatsbedarf auf Tagesbedarf	A	2000	100	Nivellieren auf gleiche Stückzahl/Tag
	B	1600	80	
	C	400	20	
		Stück/Monat	Stück/Tag	
Glätten des Tagesbedarfs auf 4 Zyklen am Tag	A	100	25	Produktion mit vierteltäglichen Zyklen
	B	80	20	
	C	20	5	
		Stück/Tag	Stück/Zyklus	
Erhöhung der Zyklenzahl pro Tag mit Verkleinerung der Losgröße	A	25	5	Kontinuierlich wiederholter Zyklus mit kleinsten Losen
	B	20	4	
	C	5	1	
		Stück/Zyklus	Stück/Zyklus	
Anzustrebende Form	 A B A B A C A B A B			

Tabelle 4: Die vier Schritte der Produktionsnivellierung (nach Takeda & Meynert 2004, S. 48 ff.)

### 3.2.2.6 Just in Time (JiT)

Just in Time (JiT) und autonome Automation (Autonomation oder Jidoka) bilden die beiden Hauptsäulen des Toyota-Produktionssystems (vgl. OHNO 1993, S. 153).

*„Just in Time ist sowohl innerbetrieblich als auch in der Beziehung zu den Zulieferern als die von Taiichi Ohno entwickelte und propagierte Philosophie zu verstehen, die unter Vermeidung von irgendwelchen Zwischenlagerungen und damit Vergeudung an Zeit und Geld zusichert, dass die zu verbauenden Teile genau zur richtigen Zeit in genau der richtigen Menge zur Verfügung stehen“ (SHINGO 1993, S. 255).*

Häufig wird noch „am richtigen Ort und in der geforderten Qualität“ hinzugefügt (SHOOK 1997, S. 51).

Die Anzahl der Bestände zwischen den Prozessen ist auf das Minimum beschränkt, welches notwendig ist, um keine Wartezeiten zu erzeugen (vgl. SUGIMORI et al. 1977). Im JiT-Prinzip werden vorgelagerte Prozesse so spät wie möglich vor den nachgelagerten veranlasst. Dies ist eine entscheidende Bedin-

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

gung für die Fertigung im One-piece-flow (vgl. WOMACK & JONES 1997, S. 390 f.). *JiT* steht damit für die Bewirtschaftungsstrategie oder das Belieferungskonzept eines Zulieferers oder die unternehmensinterne Logistikstrategie. Wildemann beziffert die Erfolge nach Einführung des JiT-Konzeptes auf folgende Werte:

*„Reduzierungen der Durchlaufzeit von 60% bis 90%, der Bestände um bis zu 50%, der Lager- und Transportkosten um bis zu 20%, eine Steigerung der Qualität und der quantitativen Flexibilität sowie der Produktivität von mehr als 25%“ (WILDEMANN 1987, S. 1).*

#### 3.2.2.7 Kanban

*Kanban* (jap., Karte) bezeichnet eine Methode für die Gestaltung der Ablauforganisation von einer Just-in-Time-Produktion. Die Methode wurde durch Besuche in amerikanischen Supermärkten inspiriert (OHNO 1993, S. 52).

*„Die Idee, den vorgelagerten Prozess im Arbeitsfluss als eine Art „Geschäft“ zu betrachten, haben wir im Supermarkt erlangt. Der Mitarbeiter am nachgelagerten Prozess (Kunde) geht zu seinem vorgelagerten Prozess (Supermarkt), um die benötigten Teile (Güter) zur richtigen Zeit in der richtigen Menge zu beschaffen. Der vorgelagerte Prozess produziert darauf sofort den gleichen Teil in der gerade entnommenen Menge (Nachfüllen des Regals)“ (OHNO 1988, S. 26).<sup>19</sup>*

In den Regalen der Supermärkte wird nur das ersetzt, was vorher wirklich verkauft worden ist. In der Produktion werden ebenso Supermärkte als kleine Lager im Sinne von Teilepuffern zwischen Prozessen installiert. Ein Produktionsauftrag für die Wiederbefüllung entsteht durch die Entnahme von Teilen aus dem sogenannten Supermarkt. Eine Methode ohne Risiko von Überproduktion und Lagerhaltung wäre die Produktion in jedem Schritt der Produktionskette nur nach realem Bedarf und auf Bestellung. Die jedoch höheren anfallenden Kosten bewegten Toyota dazu, das „vom Supermarkt abgeleitete, absatzbezogene Auftragsystem“ (SHINGO 1993, S. 149) in das Kanban-System zu integrieren (vergleiche Abbildung 19).

---

<sup>19</sup> “From the supermarket we got the idea of viewing the earlier process in a production line as a kind of store. The later process (customer) goes to the earlier process (supermarket) to acquire the needed parts (commodities) at the time and in the quantity needed. The earlier process immediately produces the quantity just taken (re-stocking the shelves)”.

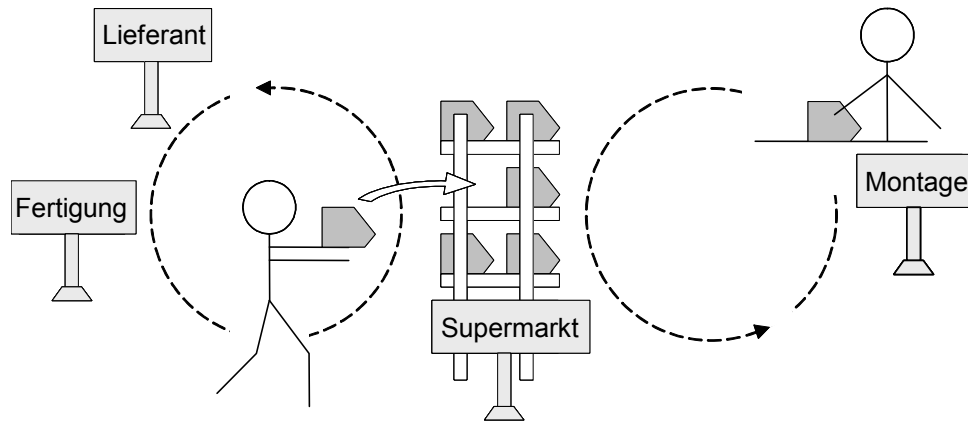


Abbildung 19: Supermarkt als Teil des Kanban-Systems (nach Knorr-Bremse 2002, S.11)

Der Ablauf für das Kanban-System funktioniert wie folgt: Nach dem Just-in-Time-Prinzip entnimmt ein Mitarbeiter an einem vorgelagerten Arbeitsprozess die von ihm benötigten Teile zum benötigten Zeitpunkt und in der benötigten Menge. Durch ein Kanban (Karte oder Auftrag) wird die Nachproduktion der entnommenen Werkstücke beim vorgelagerten Prozess angestoßen. Der Wert von Kanbans besteht auch darin, dass die Materialsteuerung ohne elektronische Hilfsmittel funktioniert. Dies macht die Methode transparent und robust. Alle benötigten Informationen über Halbfertigteile und benötigte Behälter sind auf der Kanbankarte verzeichnet.

Es werden je nach Anwendungsfall verschiedene Kanbanarten unterschieden. So gibt es Entnahme-, Transport- oder Produktions-Kanbans. Eine Sonderform stellt das Signalkanban dar. Es wird beispielsweise beim Pressen benutzt, wo die Herstellung von mehr als der Just in Time benötigten Menge teilweise nicht vermieden werden kann (OHNO 1993, S. 153 f.; SHINGO 1993, S. 256).

Für Ohno ist die Methode Kanban die „*einfache und direkte Form der Kommunikation an dem Ort, an dem sie notwendig ist*“ (OHNO 1993, S. 153).

Dadurch, dass immer nur nachproduziert wird, wenn etwas aus einem Lager entnommen worden ist, ist es mit der Methode Kanban nicht möglich hohe Bestände aufzubauen, da immer nur so viel nachproduziert wird wie zuvor entnommen worden ist (SHINGO 1993, S. 256). Die Höhe der Bestände wird also durch die Auslegung der Kanbankreisläufe und die Befüllung der einzelnen Behälter vorab definiert.

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

Zur Berechnung der Anzahl an benötigten Kanbans innerhalb eines Kanbankreislaufes dient folgende Formel (SUGIMORI et al. 1977):

$$y = \frac{D(T_w + T_p)(1 + \alpha)}{a} \quad (4)$$

$y$	Anzahl an Kanbans
$D$	Nachfrage pro Zeiteinheit
$T_w$	Wartezeit eines Kanban
$T_p$	Wiederbeschaffungszeit für Kanban
$a$	Teileanzahl pro Behälter (nicht mehr als 10% des täglichen Bedarfs)
$\alpha$	Sicherheitsfaktor (nicht über 10%)

*Formel 4: Formel zur Berechnung der Anzahl benötigter Kanbans innerhalb eines Kanbankreislaufes (SUGIMORI et al. 1977)*

### 3.2.3 Mitarbeiterorientierte Methoden

#### 3.2.3.1 Mehrmaschinenbedienung

Zielsetzung der *Mehrmaschinenbedienung* ist es, für die Mitarbeiter eine Arbeitsabfolge ohne Wartezeiten zu gestalten und somit die Auslastung der Mitarbeiter zu erhöhen. Die Aufgaben der Mitarbeiter bestehen dabei idealerweise nur noch darin Rüstprozesse durchzuführen, die Maschinen zu bestücken und Fertigteile zu entnehmen. Während der Werker an einer Anlage Rüstprozesse durchführt, laufen die anderen Anlagen selbständig bis zur Fertigstellung der Bauteile weiter. Mit diesem Vorgehen nimmt Toyota bewusst niedrigere Anlagenauslastungsgrade in Kauf. Im Gegenzug dazu werden die freien Kapazitäten an Maschinen und an Anlagen dazu genutzt, neue kurzfristig eingelastete Aufträge abzuarbeiten (SHINGO 1993, S. 258).

Dieses Vorgehen begründet sich bei Toyota in den höheren Kosten für Mitarbeiter im Vergleich zu den Kosten für ungenutzte Maschinen. Daher wird die Auslastung der Mitarbeiter vorrangig vor den Maschinennutzungsgraden optimiert (SHINGO 1989, S. 103). Die im Vergleich zu den Mitarbeiterkosten niedrigeren Maschinenstundensätze basieren auf den langen Nutzungszeiten der Maschinen. Ebenso resultiert die Idee der Mehrmaschinenbedienung aus den Erfahrungen von Toyota in der Nachkriegszeit, in der nur sehr begrenzt Arbeitnehmer im japanischen Markt verfügbar waren. Die Tatsache, dass Toyota im Vergleich zu



anderen Automobilherstellern relativ einfache Maschinen nutzt, trägt ebenso zu diesem Umstand bei (vgl. BECKER 2006).

### 3.2.3.2 Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter

Für die Umsetzung der Methode Mehrmaschinenbedienung ist die *flexible Zuteilung von Mitarbeitern* auf verschiedene Arbeitsplätze eine Vorbedingung. Notwendige Grundlage hierfür ist die Fähigkeit der Mitarbeiter unterschiedliche Arbeitsabläufe zu beherrschen. Dies wird dadurch ermöglicht, dass Mitarbeiter gezielt für mehrere Arbeitsstationen trainiert und ausgebildet werden. Um das einmal Erlernte nicht zu vergessen und die Standards immer einhalten zu können, wechseln die Mitarbeiter in festgelegten Zyklen die Arbeitsplätze. Idealerweise wird dies teamintern organisiert. Jedes Team ist dabei selbst für die Einhaltung von Flexibilitätsvorgaben verantwortlich.

Um möglichst viele Kombinationen der Zuordnung abdecken zu können und so gegen Ausfälle von Mitarbeitern abgesichert zu sein, ist eine Gruppe bestrebt, jeden Mitarbeiter in so vielen Prozessen zu schulen wie zur Vermeidung von Ausfällen mindestens benötigt werden. Ein weiterer Effekt, neben dem Aufbau von Flexibilität und damit einer höheren Ausfallsicherheit, ist die Ausübung spezifischer Aufgaben nur durch Spezialisten. Dies erfordert einen hohen Schulungsaufwand und kann auch auf indirekte Tätigkeiten ausgeweitet werden, die eng mit den Arbeiten in der Produktion verknüpft sind wie Tätigkeiten der Qualitätsüberwachung oder Wartungsarbeiten in kleinen Umfängen. Hierbei ist immer zu berücksichtigen, dass die vorrangige Aufgabe der Arbeiter die Durchführung der wertschöpfenden Tätigkeiten darstellt. Häufig geht bei der Arbeitsorganisation mit flexiblen Teams auch die Einführung neuer Entgeltstrukturen einher (vgl. KARLSSON & AHLSTRÖM 1996).

Erkennbar wird die hohe Bedeutung von *multidisziplinär ausgebildeten Mitarbeitern* daran, dass bei Toyota Führungskräfte auch und vor allem danach ausgewählt werden, wie gut und wie viele Prozesse sie am Montageband und in der Fertigung beherrschen. Häufig sind die Führungskräfte die besten Fachkräfte in mehreren Bereichen (MONDEN 1998, S.166).

### 3.2.3.3 Shojinka

Die Methode *Shojinka* bedeutet Flexibilität bezüglich des Einsatzes von Mitarbeitern und bezeichnet im Genaueren die Möglichkeit der einfachen und schnel-

len Anpassung der Mitarbeiterzahlen an Schwankungen des Produktionsbedarfs in Arbeitssystemen (MONDEN 1998, S. 159). Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode bei Toyota, ist das seit den 1940er Jahren zwischen den Gewerkschaften und den festangestellten Toyota-Mitarbeitern bestehende Abkommen, durch das die Mitarbeiter eine lebenslange Beschäftigungsgarantie erhalten und im Gegenzug zu Leistung und Flexibilität verpflichtet werden. Somit empfinden es die Mitarbeiter als ihre Pflicht als guter und fair behandelter Arbeitnehmer, jegliche für das Unternehmen wichtige Aufgaben zu übernehmen, wenn es die Situation erfordert (vgl. hierzu BECKER 2006).

Mit den zahlreichen Fahrzeugmodellen in ihren verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklusses unterliegt Toyota, wie andere Automobilhersteller auch, gewissen Absatzschwankungen, die innerhalb der Produktion Flexibilität erfordern. Dies bedeutet für die Mitarbeiter, dass deren Einsatzgebiete sich stets dem aktuellen Bedarf anpassen müssen.

Um diese flexible Umbesetzung zu ermöglichen, schult Toyota seine Mitarbeiter durch sogenannte Job Rotation. Dabei rotieren die Mitarbeiter in regelmäßigen Abständen durch alle Tätigkeiten innerhalb ihres Arbeitsbereiches. Nach einer gewissen Zeit entwickelt jeder Mitarbeiter ein breites Spektrum an Fertigkeiten und wird dadurch großflächig einsetzbar. Das Job-Rotation-System besteht aus drei wesentlichen Elementen. Zunächst muss jede Führungskraft alle Tätigkeiten innerhalb der Gruppe durchlaufen und ihre eigenen Fähigkeiten vor den Mitarbeitern unter Beweis stellen. Als zweites muss jeder einzelne Mitarbeiter über das Rotationsprinzip sämtliche Arbeiten erlernen. Letzter Schritt ist die Arbeitsplatzrotation mit einer Frequenz von einigen Tätigkeitswechseln pro Tag. Die eigenen Fähigkeiten werden dann weiter vertieft dadurch, dass die besten Mitarbeiter neue Mitarbeiter auf die Arbeitsprozesse anlernen und so erste Führungsqualifikationen sammeln (MANN 2005, S. 140 ff.).

#### 3.2.4 Qualitätsorientierte Methoden

##### 3.2.4.1 Jidoka / Autonomation

Sakichi Toyoda, der Unternehmensgründer von Toyota, war der erste, der *Jidoka* anwendete, indem er einen Webstuhl erfand, der bei unvorhergesehenen Störungen automatisch stoppte. Somit schuf er die Möglichkeit, mehrere Webstühle von nur einer Person bedienen zu lassen. Diese Erfindung reduzierte Ausschuss und Wartezeiten und wirkte sich positiv auf die Produktivität aus. Auf Sakichi

Toyota geht auch die mit Jidoka zusammenhängende Idee des Bandstopps durch Mitarbeiter beim Auftreten von Fehlern zurück.

Das japanische Wort „ji-do-ka“ besteht aus drei japanischen Buchstaben, die folgende Bedeutung haben: „Ji“ bezieht sich auf den Arbeiter und sein Entscheidungsvermögen, Defekte oder Anomalitäten eigenständig zu erkennen und die Produktion zu stoppen. „Do“ steht für Bewegung oder Arbeit, und „Ka“ ist ein japanisches Suffix, vergleichbar zum deutschen „-ation“. Zusammengezogen bedeutet das Wort „Jidoka“ „Automation mit menschlicher Intelligenz“ (DENNIS 2002, S. 89 f.).

*Autonation* ist die Kurzform für autonome Automation und ist der westliche Ausdruck für Jidoka. Er bezeichnet die Integration einer Fehlererkennung in einen automatisierten Ablauf. Bei Auftreten eines Fehlers wird sofort der automatische Prozess gestoppt, so dass der Fehler identifiziert werden kann und sich nicht bei den nächsten Bauteilen oder Werkstücken fortsetzt. Damit werden Mitarbeiter überflüssig, die nur der automatischen Prozessüberwachung dienen. Bei Toyota wird dieses Konzept auch auf das Fließband und die Mitarbeiter übertragen. Im Falle einer Störung wird das Montageband gestoppt, um die Ursache des Fehlers zu finden und Maßnahmen zu definieren damit der Fehler in Zukunft nicht mehr auftritt.

Durch die künftige Vermeidung des Fehlers wird Verschwendung vermieden. Damit steht Jidoka für die Produktion nach dem Null-Fehler-Prinzip durch kontinuierliche Verbesserung der Prozessfähigkeit. Wichtigster Bestandteil ist nicht das sofortige Anhalten des Prozesses, sondern die darauf folgende Suche nach der Fehlerursache sowie dessen Eliminierung (SUGIMORI et al. 1977). Jidoka ist neben Just in Time die zweite Säule des TPS (OHNO 1993, S. 150 f.).

### 3.2.4.2 5S

5S steht für die mit „S“ beginnenden Wörter „*Seiri*“, „*Seiton*“, „*Seiso*“, „*Seiketsu*“ und „*Shitsuke*“ (WOMACK & JONES 1997, S. 389). Die japanischen Begriffe bilden in dieser Reihenfolge die Schritte der Methode 5S. Sie bezeichnen dabei folgende Inhalte:

- *Seiri*: Aussortieren nicht benötigter Dinge am Arbeitsplatz
- *Seiton*: Aufräumen (Anordnen und Kennzeichnen) der verbliebenen Dinge am Arbeitsplatz im Hinblick auf deren optimale Nutzung

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

- *Seiso*: Reinigen des Arbeitsbereiches, so dass er nicht mehr verschmutzt werden kann
- *Seiketsu*: zyklisches Durchführen der ersten drei Schritte für eine kontinuierliche Anpassung des Arbeitsplatzes an Veränderungen im Arbeitsablauf
- *Shitsuke*: Die durch ständiges Durchführen der ersten vier „S“ anerzogene Disziplin 5S ständig weiter zu verfolgen.

Takeda ergänzt hier ein sechstes S *Shukan* (Gewöhnung). Mittels Shukan soll sich bei den Mitarbeitern durch die Disziplin der häufigen Wiederholung der 5S-Schritte eine innere Gewöhnung an diese einstellen. Bestenfalls benötigt der Mitarbeiter dann keine Disziplin mehr, um die fünf Schritte durchzuführen, da er es aus innerem Antrieb selbst macht (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 40).

Im englischen Sprachraum existiert die Bezeichnung „5S“, „5C“ oder „CANDO“, im deutschen Sprachraum existiert die Bezeichnung „5A“. In Tabelle 5 sind die Bezeichnungen einander gegenübergestellt.

5S als Methode integriert mit den Methoden *Standardisierung*, *Visualisierung* und *kontinuierliche Verbesserung* einige Lean-Production-Methoden in einen festen Ablauf.

	5S (jap.)	5S (engl.)	5C	5A	CANDO
1	Seiri	Sort	Clear out	Aussortieren	Clean up
2	Seiton	Set in order	Clean and check	Aufräumen	Arrange
3	Seiso	Shine	Configure	Arbeitsplatz sauber halten	Neatness
4	Seiketsu	Standardise	Conformity	Anordnung zur Regel machen	Discipline
5	Shitsuke	Sustain	Custom and practice	Alle Schritte wiederholt durchlaufen	Ongoing improvement

*Tabelle 5: 5S, 5C, 5A und CANDO: ein System mit vielen Namen (nach BROWN et al. 2006 und RICH et al. 2006, S. 63)*

Die Methode 5S ist die am häufigsten angewendete Methode innerhalb eines Lean-Production-Systems und wird häufig zuerst eingeführt. Gründe hierfür nennt Rich:

*„... die [Ergebnisse der Methodenanwendung] sind sichtbar, sie sind unpolitisch und sie führen zu einer Steigerung der Sicherheit und des Verbesserungsbewusstseins unter allen Mitarbeitern“ (vgl. RICH 1999).<sup>20</sup>*

Benennbare Vorteile der Methode sind die Einfachheit und Klarheit des Konzepts, die es jedem ermöglicht, diese anzuwenden, unabhängig von der Abteilung und Aufgabe. So kann 5S in der Werkstatt, im Büro, in der Entwicklung, in der Werkzeugvorbereitung oder im Wareneingang genutzt werden. Das Resultat ist jedes Mal vergleichbar: ein aufgeräumter, transparenter und sicherer Arbeitsplatz, der zu höherer Produktivität, weniger Fehlern und weniger Unfällen führt sowie eine höhere Flexibilität ermöglicht (RICH et al. 2006, S. 60 ff.).

### 3.2.4.3 Standardisierung

Standardisierung dient der Beschreibung eines besten Zustandes von Prozessen oder Arbeitssystemen. Durch die Standardisierung wird erreicht, dass ein optimaler Prozess oder Zustand allgemein verfügbar und nachvollziehbar ist. Er bildet damit die Grundlage von kontinuierlicher Verbesserung und der Identifikation von Abweichungen. Wenn eine Abweichung bemerkt wird, so ist der Grund dafür zu analysieren und entweder der Mitarbeiter darauf hinzuweisen den bestehenden Standard einzuhalten oder die Abweichung ist als neuer Standard zu definieren. Anwendungsgebiete für Standards sind die Standardabläufe im Arbeitsprozess mit Zeiten und Reihenfolgen, die benötigten Hilfsmittel und Werkzeuge, definierte Lagerbestände und alle weiteren zur Arbeitsausführung benötigten Informationen (OHNO 1993, S. 156).

Für Takeda betrifft die Methode Standardisierung *„alle Prozesse, (...) damit die Arbeit unabhängig von Person und Zeit stets in der gleichen Weise durchgeführt wird“* (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 140). Einen Auszug der Prozesse, die nach Takeda einer Standardisierung bedürfen, zeigt Tabelle 6.

---

<sup>20</sup> It is visible, it is apolitical and it improves safety and improvement consciousness amongst all workers.

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

Anwendungsgebiete für Standards		
Taktzeiten	Arbeitsverteilungsblätter	Autonomation
Leistungstabellen der Bearbeitungsstationen	Arbeitsvorschriften für das Umrüsten	Poka Yoke
Fließfertigung	5S	Produktionsnivellierung
U-Linien	Kanban	Sicherheitsvorschriften
Adressenfestlegung	Kaizen	Synchronisation
Warmmelder	Qualifizierungsmatrizen	Störungsmanagement
Standardarbeitsblätter		Einzelstückfluss

*Tabelle 6: Auszug notwendiger Standardisierungen (nach Takeda & Meynert 2004, S. 140)*

#### 3.2.4.4 Visualisierung

Unter Visualisierung werden verschiedene Begriffe subsummiert, wie visuelles Management, visuelle Kontrolle, Transparenz oder auch Management by Sight. Ziel eines *visuellen Managements* ist immer das Erzeugen von Transparenz in Prozessen. Neben der Darstellung von Prozessen selbst sollen auch die aktuellen Zustände und Entwicklungen visualisiert werden. Ebenso kann die Methode Visualisierung angewendet werden auf die Anordnung von Bauteilen, Werkzeugen, Beständen, für die Zirkulation der Kanbans oder die Dokumentation von Standard-Arbeitsverfahren (OHNO 1993, S. 157; WOMACK & JONES 1997, S. 395).

Visualisierungen sind einfache und verständliche Darstellungen von Standards, die es ermöglichen, „den Status des Systems auf einen Blick (zu) erfassen“ (WOMACK 1997, S. 395). Für detaillierte Informationen dazu sei auf Oeltjenbruns verwiesen. In folgender Tabelle sind die verschiedenen Instrumente aufgelistet (vgl. OELTJENBRUNS 2000, S. 280).

## Anwendungsgebiete für Visualisierungen

Andon (visuelles Signal)	Zonenmarkierungen	Kontrolle, Reinigung und Wartung
Bandstopp	Zielgrößenchart	Min/Max-Niveau- Indikatoren an Behältern
Warnschilder	Kontrollblätter für statistische Prozesskontrolle	Standardarbeitsblatt in Station
Einsehbare Nacharbeitszonen	Einsehbarkeit der Produktionsbereiche	„auf einen Blick“ erkennbar
Stationsgrenzen	Auslage defekter Teile	Transparenz in Prozessen
Teile-Bezeichnungssystem		Qualifizierungsmatrizen

*Tabelle 7: Instrumente des visuellen Managements (in Anlehnung an OELTJENBRUNS 2000, S. 280)*

Somit dient die Methode *Visualisierung* einem von Grief beschriebenen Erfolgsfaktor von Lean Production:

*„Für die Gestaltung eines effektiven Produktionssystems ist es notwendig, die Standardisierung von Prozessen mit dem Ziel voranzutreiben, die Arbeitsprozesse der Mitarbeiter in der Fabrik einfacher und besser zu gestalten“ (vgl. GRIEF 1991).<sup>21</sup>*

### 3.2.4.5 Total Productive Maintenance (TPM)

*Total Productive Maintenance (TPM)* ist eine Kombination verschiedener Methoden, die dazu dienen, die Werker und die Instandhalter bei der Reinigung, Überwachung, Inspektion und Wartung von Maschinen und Anlagen zu unterstützen. Dieses Konzept ist eingebettet in eine vorausschauende Planung von Wartungsaufgaben, die in detaillierten Plänen definiert ist. Bei der Anwendung von TPM können reale Steigerungen von 60% Verfügbarkeit auf über 90% Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen gemessen werden. Weiterhin verbessert wird deren Nutzungsgrad durch die exakte Vorplanung von Wartungsterminen

<sup>21</sup> „The ‘art’ of designing a fully effective Lean-Production-system requires attention to detail and a keen eye on the standardisation of processes in a manner that makes working life simpler and better for those who work in the factory“ (vgl. Grief 1991).

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

und dem daraus resultierenden Rückgang ungeplanter Maschinenausfälle. Die Maximierung der Maschinenverfügbarkeit wird vor allem durch die autonome Instandhaltung durch den Werker und kontinuierliche Verbesserungsworkshops der Instandhaltungsteams erreicht (LJUNGBERG 1998). Durch die vorbeugende Instandsetzung und Wartung von Maschinen, teilweise durch die Mitarbeiter selbst, werden Maschinenausfälle vermieden oder frühzeitig erkannt. Der Werker ist bis zu einem bestimmten Grad für die vorbeugende Instandhaltung ebenso verantwortlich wie für die Behebung von Störungen an seiner Anlage. Die Spezialisten der Instandhaltungsabteilung werden nur dann benötigt, wenn die Fähigkeiten des Bandarbeiters nicht mehr ausreichen (NAKAJIMA 1988, S. 5ff., S. 100). Dadurch entstehen freie Zeiten, die der Instandhalter für vorbeugende Tätigkeiten und kontinuierliche Verbesserung nutzen kann. Die Verschiebung der Tätigkeiten vom Instandhalter zum Maschinenbediener erreicht in der Realität Zeitan-teile von 20% bis 50% (vgl. Abbildung 20). Dadurch wird auch das Denken in Verantwortlichkeiten aufgebrochen („I produce, you repair“) (DENNIS 2002).

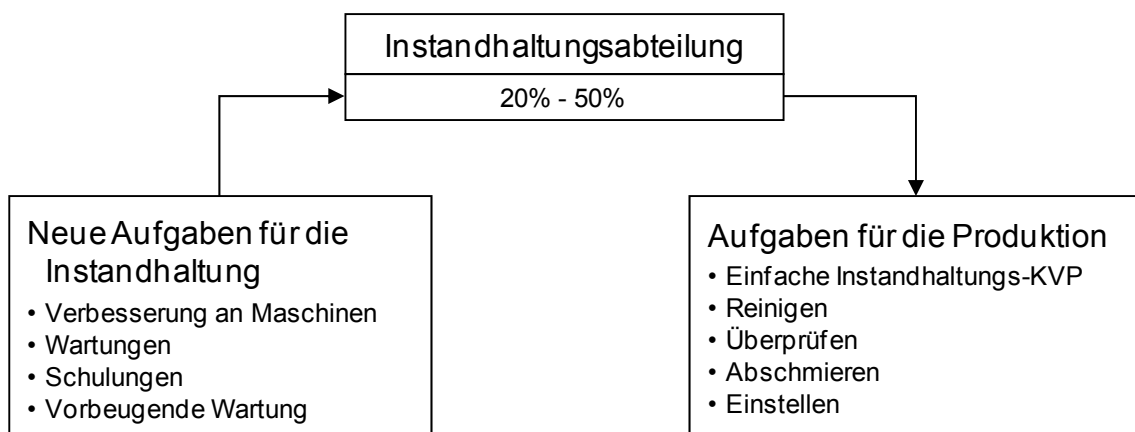


Abbildung 20: Änderung der Aufgaben des Instandhaltungsteams durch die Einführung von TPM (nach LJUNGBERG 1998)

In Tabelle 8 ist der Zusammenhang von TPM und den sieben Verschwendungsarten aufgelistet, der die enge Verflechtung des Lean-Production-Ansatzes mit der Methode TPM eindrücklich und detailliert aufzeigt.

Die Kennzahl zur Analyse und Ergebnisverbesserung für TPM ist die Overall Equipment Effectiveness (OEE). Diese setzt sich aus dem Produkt von Verfügbarkeit [%], Leistungsgrad der Maschine [%] und Qualitätsrate [%] zusammen.



Ver- schwendung	Darstellung	TPM Maßnahmen
Über- produktion	Produktion auf Lager in hohen Losgrößen nach einem Zeitplan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktion in kleinen Losen durch Prozessverbesserungen</li> <li>• Höhere Anlagengeschwindigkeiten</li> <li>• Verringerung von Rüstzeiten</li> </ul>
Unnötige Bestände	Hoher Umlaufbestand und die Überproduktion an Fertigwaren ohne Kundennachfrage Bevorratung von Materialien zur Abfederung von Problemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierte Bestände, die nur schlechte Anlagenverfügbarkeit und -qualität ausgleichen sollen</li> </ul>
Unange- messene Prozesse	Einfache, regelmäßige Prozesse mit hoch komplizierten Anlagen, statt geeigneten einfachen Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stetige Analyse der Anlagen, um Schwachstellen schnell zu erkennen</li> <li>• frühzeitiges Anlagenmanagement, zur Auswahl passender Anlagen</li> </ul>
Unnötiger Transport	Lange Wege zwischen den Arbeitsplätzen mit der Gefahr von Produktschäden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysen, um die Ursachen für Ausfälle zu finden - ausgerichtet auf eine enge Maschinenaufstellung</li> </ul>
Unnötige Wartezeiten	Im Produktionsbereich liegendes Rohmaterial der Halbfertigteile, die auf Verarbeitung warten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsplatzgestaltung beschränkt die maximal nötige Menge von Rohmaterialien an einem Platz</li> </ul>
Fehler	Verlustzeit, die nie erstattet werden kann - Nacharbeit an sonst unverkaufbaren fehlerhaften Teilen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fokussierung auf verbesserte Leistung durch die Beseitigung aller menschlichen und maschinenseitigen Fehlerursachen</li> </ul>
Unnötige Bewegungen	Schlecht gestaltete Prozesse, die zur Überlastung und Übermüdung der Mitarbeiter führen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung der Ergonomie am Arbeitsplatz für eine stressfreie und angenehme Arbeitsumgebung</li> </ul>

*Tabelle 8: Zusammenhang zwischen TPM und den sieben Arten der Verschwendung (in Anlehnung an RICH et al. 2006, S. 148 f.)*

Für hoch automatisierte Montageanlagen werden OEE-Werte von über 90% erreicht. Die hierfür zu eliminierende Verschwendung lässt sich auf sechs verschiedene Arten aufteilen: Maschinenausfälle, Rüst- und Einstellzeiten, Leerzeiten und kurze Wartezeiten, unvollständige Nutzung der Maschinenfähigkeiten, Fehler bei der Bearbeitung, Einfahrverluste oder Einstellzeiten. TPM-Aktivitäten werden häufig auf Basis des in Tabelle 9 gelisteten Phasenablaufplanes durchgeführt (vgl. GROSS 2002):

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

#### Phaseninhalte

---

1. Einführung einer Zeitplanung zur Instandhaltung
  2. Zerlegen der Gebäude und Anlagen in logische Einheiten
  3. Erstellung einer Anlagenliste und Zuordnung von Anlagennummern
  4. Erstellung und Verteilung präventiver Arbeitsinhalte für Wartung und Instandhaltung
  5. Festlegung der Plätze für bzw. die Neuerstellung von Anlagenbedienungsanleitungen
  6. Aufbau eines kontrollierten Bestands für die Instandhaltung
  7. Überprüfung der Effektivität und Durchführung von Verbesserungsmaßnahmen
- 

*Tabelle 9: Sieben-Phasen-Plan zur Einführung von TPM  
(nach GROSS 2002, S. 8)*

#### 3.2.4.6 Verkürzung der Rüstzeiten (SMED)

*SMED* ist die Abkürzung für „*Single Minute Exchange of Die*“ (Werkzeugwechsel im einstelligen Minutenbereich). Gemeint ist damit generell die Verkürzung von Rüstzeiten. Shigeo Shingo beschrieb dieses Vorgehen und übernahm dabei bestehende Ansätze von Ford und Ohno, die er in einer Methode zur Rüstzeitreduzierung zusammenfasste (BICHENO & HOLWEG 2009, S. 89).

Ziel des Vorgehens ist die maximale Verkürzung der internen Rüstzeiten sowie die Verringerung der externen Rüstvorgänge. Abbildung 21 zeigt das von Shingo beschriebene stufenweise Vorgehen zur Erreichung kurzer Werkzeugwechselzeiten (SHINGO 1993, S. 261; WOMACK & JONES 1997, S. 394).

In einem ersten Schritt werden interne und externe Rüstzeiten identifiziert. Heutzutage wird dies bspw. mit Hilfe einer Videokamera gemacht. Mit *internem Rüsten* werden die Rüstprozesse bezeichnet die die maschinelle Bearbeitung eines Werkstückes unterbrechen. Unter *externem Rüsten* werden die Vorgänge verstanden, die parallel zum Bearbeitungsprozess der Maschine ablaufen können. In einem zweiten Schritt werden die internen und die externen Rüstvorgänge ablauforganisatorisch entkoppelt. Dies ist die Voraussetzung für die anschließende Umwandlung von internen zu externen Rüstvorgängen. Daraufhin werden die externen und internen Rüstvorgänge optimiert und verringert.

Insbesondere die Reduzierung der internen Rüstzeiten ist eine „Kernfunktion des Toyotismus“ (SHINGO 1993, S. 107).

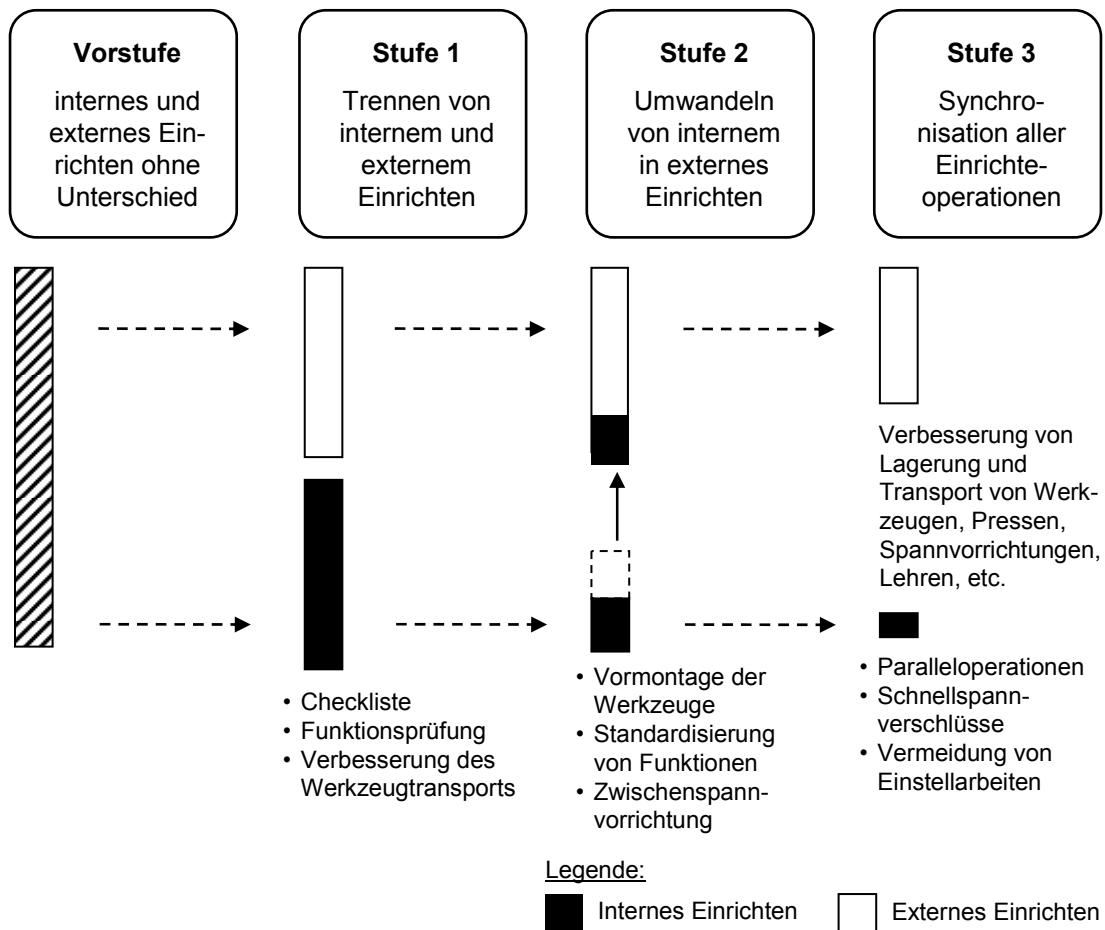


Abbildung 21: Vierstufiges Konzept zur Rüstzeitoptimierung (angelehnt an SHINGO 1993, S 247 nach REINHART 2007)

Zur Optimierung der Rüstzeiten werden u.a. folgende Techniken angewandt (SHINGO 1996):

- Einsatz von Klemmen statt Schrauben
- Schiebetische statt Kräne
- Zwischenspannvorrichtungen zur Justierung außerhalb der Maschine
- Parallelisieren von Rüstvorgängen
- Standardisierung oder Eliminierung von Justiereinrichtungen.

Der Erfolg der Methode und deren Ausweitung auf die Entwicklung hat Ohno anhand eines Beispiels an einer großen Presse beschrieben. Dabei konnte über

### 3 Grundlagen von Lean Production

---

einen Zeitraum von knapp dreißig Jahren die Rüstzeit von zwei bis drei Stunden auf unter drei Minuten gesenkt werden (OHNO 1988).

#### 3.2.4.7 Poka Yoke

*Poka Yoke* (jap. unabsichtliche Fehler vermeiden) ist eine Methode zur Fehlervermeidung. Der ursprünglich von Ohno verwendete Ausdruck *Baka Yoke* heißt Narrensicherheit. Um der Methode bei den Mitarbeitern eine positivere und akzeptablere Bedeutung zu verleihen, wählte Ohno anstelle des Begriffes *Baka Yoke* den Begriff *Poka Yoke*. Mit *Poka Yoke* werden einfache und zuverlässige Vorrichtungen bezeichnet, die an Maschinen, Werkzeugen oder Produkten angebracht werden, um Defekte zu vermeiden oder sofort ausfindig zu machen (s. Abbildung 22).

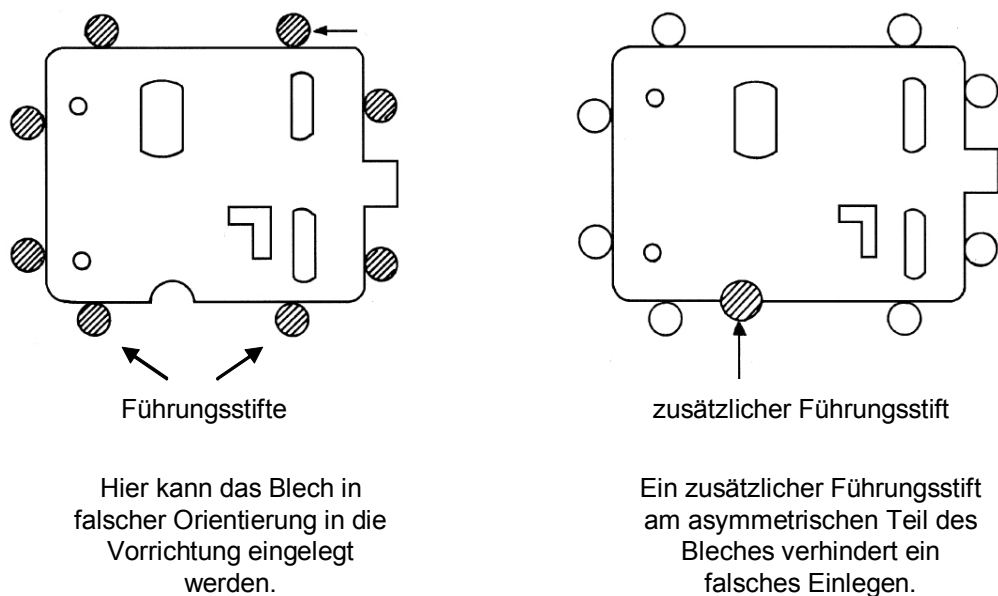


Abbildung 22: Poka-Yoke-Einrichtung (nach HIRANO 1992)

Poka Yoke werden nach folgenden drei Kriterien unterschieden: der Art der Prüfung (Prüfmethode), der Art der Überwachung (Auslösemechanismus) und nach der Art des Eingriffes in den Prozess (HIRANO 1992, S. 7 f).

#### 1. Prüfmethode

- Fehlerquellenprüfung (Abschalten): Die Ursache, die zu einer Fehlhandlung führen kann, wird verhindert.
- Prüfung mit direktem Feedback (Ausregeln): Die Fehlhandlung lässt sich im Arbeitsschritt noch korrigieren.

- Prüfung mit indirektem Feedback (Warnung, akustisch oder optisch): Der entstandene Fehler wird entdeckt und der Fehler pflanzt sich nicht fort.

### 2. Auslösemechanismus

- Die Kontakt-Methode: Unzulässige Abweichungen von den Arbeitsfolgen, die zu Fehlhandlungen führen können, werden von Sensoren über geometrische Kenngrößen festgestellt. Je nach Art des Sensors kann der Kontakt berührend oder auch berührungslos sein.
- Konstantwert-Methode: Abweichungen oder Unregelmäßigkeiten im Verlauf des Fertigungsprozesses werden durch das Überprüfen des Erreichens einer bestimmten Anzahl von Teilarbeitsschritten erkannt. Die hierbei eingesetzten technischen Mittel sind meist sehr einfach, aber wirkungsvoll, wie z.B. mechanische Zähleinrichtungen.
- Schrittfolgenmethode: Die Standardbewegungsabfolge eines Arbeitsprozesses wird erkannt und mit möglichst einfachen Hilfsmitteln auf Fehlhandlungen hin überprüft.

### 3. Regulierungsmechanismen:

- Eingriffsmethode: Beim Auftreten von Abweichungen oder Prozessunregelmäßigkeiten, die Fehler zur Folge haben können, wird die Maschine sofort abgeschaltet. Mit dem Fertigungsprozess verbundene Vorgänge wie Transportieren oder Spannen werden ebenfalls sofort unterbrochen. Dadurch werden Korrekturmaßnahmen und die Vermeidung von Wiederholungsfehlern möglich.
- Alarmmethode: Hierzu zählen sämtliche Arten von optischen und/oder akustischen Signalen, die auf die Situation der entstehenden oder gerade entstandenen Fehlhandlung hinweisen.

Poka Yokes sind als reine Hilfsmittel zu verstehen, da sie selbst nicht zur Wertschöpfung beitragen. Sie überprüfen lediglich die Qualität. Diese wird in den Arbeitsgängen produziert. Poka Yokes garantieren also nicht die Herstellung fehlerfreier Produkte, sondern sind nur Vorrichtungen, um fehlerhafte Produkte zu vermeiden. Häufig sind Poka Yokes das Ergebnis von kontinuierlichen Verbesserungsprozessen (vgl. HIRANO 1992, S. 7 f. und S. 38 f.; SHINGO 1989, S. 5 ff.).

### 3.2.4.8 Kaizen

*Kaizen* steht für einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (in Deutschland KVP abgekürzt, in englischsprachigen Ländern CIP für „Continuous Improvement Process“) (WOMACK & JONES 1997, S. 391). Der Name ist zusammengesetzt aus den beiden Silben „Kai“ (japanisch für „Veränderung, Wandel“) und „Zen“ (japanisch für „zum Besseren“). Kaizen bezeichnet eine Vorgehensweise, die in die Kultur Japans integriert ist und nicht nur innerbetriebliche Themenstellungen wie Arbeitsabläufe betrifft. Auch im Privaten und im Öffentlichen findet *Kaizen* als eine Art Denksport für jedermann Anwendung (SHINGO 1993, S. 256).

Zur Vermeidung von Verschwendung und zur Kostenreduktion als das primäre Ziel von Lean Production werden die Mitarbeiter bei Toyota in die Gestaltung der Arbeitsprozesse und Hilfsmittel integriert. Das Ziel ist die fortwährende Verbesserung der Produktionsprozesse bis zum Erreichen einer perfekten Produktion (HAYES 1981). Kaizen ist dabei die Methode, mit der die Mitarbeiter in das Streben nach Perfektion eingebettet sind. Ziel ist es, die geistigen Fähigkeiten der Mitarbeiter zur Verbesserung der Arbeitsplätze kreativ zu nutzen (IMAI 1986). Die Vernachlässigung dieser geistigen Fähigkeiten wird von Takeda auch als achte Art der Verschwendung bezeichnet (TAKEDA 1995).

Zur Umsetzung von Kaizen treffen sich die Mitarbeiter wöchentlich zu festen Terminen an denen sie Vorschläge zur Verbesserung der Prozesse und Werkzeuge durchsprechen. Die Vorschläge werden über die Woche an einer Ideentafel gesammelt, an der auch der Bearbeitungsstatus der einzelnen Vorschläge für alle öffentlich sichtbar festgehalten wird. Das System überschneidet sich dabei mit dem in Europa üblichen betrieblichen Vorschlagswesen. Der Erfolg dieses Vorgehens wird entweder über die Anzahl der eingebrachten Vorschläge oder über die Anzahl der umgesetzten Vorschläge pro Zeiteinheit gemessen (KARLSSON & AHLSTRÖM 1996). Der Ablauf zur Bearbeitung eines Verbesserungsvorschlags folgt dem PDCA-Zyklus, der abgekürzt für „Plan - Do - Check - Act“ steht. Dieses Vorgehen wurde von Deming 1954 in Japan eingeführt und ist dort prägender Bestandteil von Kaizen (DEMING 1986). Der Ablauf des PDCA-Zyklus entspricht der wissenschaftlichen Methode Hypothesenbildung - Experiment - Beurteilung (SHEWHART 1986, S. 1). Dargestellt ist das Vorgehen in Abbildung 23.

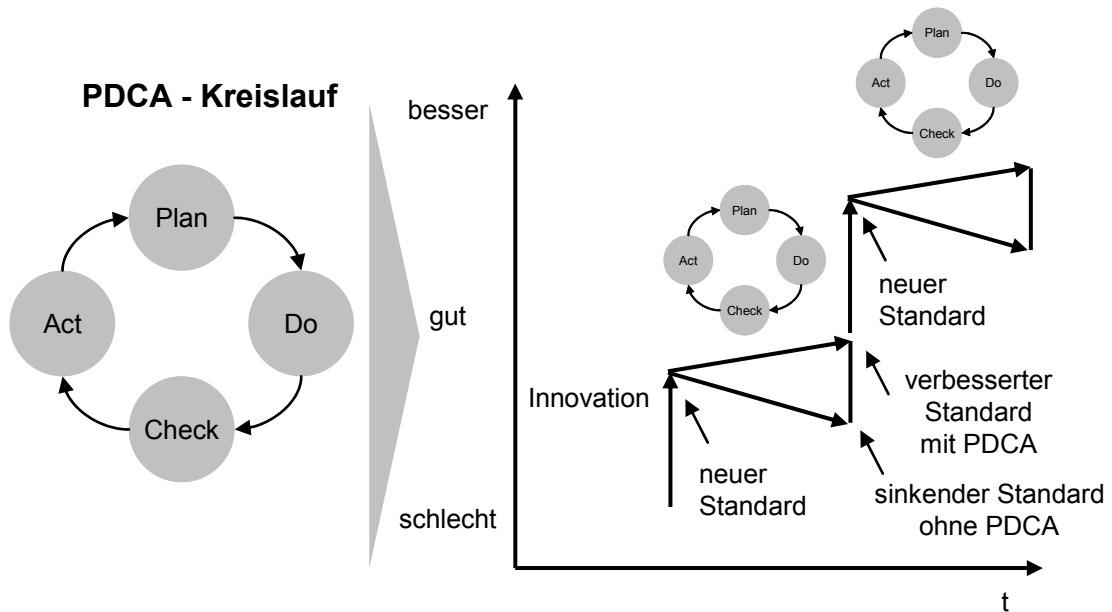


Abbildung 23: PDCA-Zyklus (angelehnt an DEMING 1986, nach REINHART 2007)

Die Inhalte der einzelnen Phasen sind dabei die folgenden:

- Plan: Planung eines Vorhabens, Verfahrens oder einer Problemlösung
- Do: Anwendung der geplanten Maßnahme
- Check: Verifizierung der Ergebnisse
- Act: Anpassung der Maßnahme bei nicht gewünschtem Ergebnis oder die Standardisierung der Maßnahme bei gewünschtem Ergebnis

Dieser Zyklus wird kontinuierlich durchlaufen. Ein neuer Zustand wird so zum neuen Standard erhoben und fordert zu erneuter Verbesserung heraus (DENNIS 2002). Mike Rother sieht in der Methode *Kaizen* die Ursache für den Erfolg Toyotas und die Erklärung, warum sich trotz Einführung von Produktionssystemen in westlichen Unternehmen nicht die gleiche Effektivität wie bei Toyota einstellt. Methoden wie Nivellierung, Kanban usw. unterstützen die Methode *Kaizen*, indem sie Probleme der Produktion aufdecken und damit eine große Fülle an Verbesserungsschätzen sammeln: „Die Werkzeuge von Toyota basieren auf dem Ziel der kontinuierlichen Verbesserung und funktionieren ohne diese nicht annähernd so gut“ (ROTHER & HARRIS 2001). Um ein Produktionssystem nach dem Vorbild Toyotas umzusetzen, reicht es also nicht, die Methoden zu implementieren. Vielmehr müssen die Methoden als Basis gesehen werden, um Probleme in der Produktion aufzudecken und diese durch kontinuierliches Verbessern zu eliminieren.

### 3.3 Zusammenfassung

Lean Production ist der Überbegriff für die Art und Weise der Arbeitsorganisation, die Toyota seit den 1950er Jahren entwickelt hat, um die eigene Automobilproduktion zu gestalten. Lean Production besteht dabei aus mehreren Methoden, die unter Prinzipien zusammengefasst ein Produktionssystem bilden, welches Toyota-Produktions-System (TPS) genannt wird. 18 ausgewählte Methoden des TPS sind kurz erläutert und hinsichtlich ihrer Wirkungsweise beschrieben worden.

Ein Lean-Production-System entspricht den Anforderungen an ein System, indem es einen Zweck hat und aus einzelnen Elementen (Lean-Production-Methoden) besteht, die in Wechselwirkung miteinander stehen. Es ist in seiner Funktion beeinträchtigt, wenn einzelne Elemente herausgelöst werden.

Damit kann ein Lean-Production-System mit seinen Interdependenzen und Rückkopplungen auf Basis eines qualitativen Beschreibungsmodells als Entscheidungsmodell abgebildet werden. Um das dynamische Verhalten des Systems und die Auswirkungen auf die Funktion des Systems und das systemimmanente Verhalten zu analysieren, ist es in ein System-Dynamics-Modell zu überführen. Die System-Dynamics-Methode ist geeignet, ein teil-offenes System mit seinen Elementen und Interdependenzen zu beschreiben und an diesem Simulationen durchzuführen, um das zeitabhängige Verhalten des Systems zu verstehen.

Die Ausführungen in den Abschnitten dieses Kapitels verdeutlichen die Breite der Fragestellung dieser Arbeit und bilden eine solide sowohl handwerkliche als auch inhaltliche Basis für die Erstellung eines Interdependenzmodells für Lean-Production-Methoden.



## 4 Stand der Erkenntnisse

### 4.1 Allgemeines

In den vorherigen Kapiteln und Abschnitten wurden die Bedeutung von Lean Production und ihr systemischer Charakter herausgearbeitet. Darauf aufbauend wurde die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit formuliert: In welchen Interdependenzen stehen die einzelnen Lean-Production-Methoden zueinander, und welche Auswirkungen hat dies auf die Einführungsreihenfolge von Lean-Production-Methoden im Rahmen einer umfassenden Einführung eines „Schlanken Produktionssystems“ (vgl. Abschnitt 1.3)? In Kapitel 2 wurden die Grundlagen für die Modellierungsmethode beschrieben und in Kapitel 3 die 18 Methoden definiert, die im Rahmen der Arbeit in die Untersuchung integriert sind.

In Kapitel 4 wird nach einem kurzen allgemeinen Überblick der Untersuchungsrahmen definiert und eine Diskussion über den Stand der Technik zur Beantwortung der zentralen Fragestellung dieser Arbeit geführt.

Erklärungsansätze zum Toyota-Produktionssystem oder zu darauf aufbauenden Entwürfen zur Implementierung neuer Produktionsstrategien existieren in der Literatur mittlerweile in großer Zahl auf unterschiedlichen Organisationsstufen und in verschiedenen Detaillierungsgraden. Dies liegt auch daran, dass die Frage nach der Übernahme des TPS und seiner Methoden in das eigene Unternehmen von Beginn an ein Problem darstellte. So schrieb bereits Shingo in seinem 1989 erschienenen Buch:

*„Einige Menschen denken, dass Toyota sich einen schicken Anzug, nämlich das Kanbansystem, gekauft hat, kaufen sich selber den gleichen Anzug und probieren diesen an. Sie stellen aber schnell fest, dass sie viel zu dick sind, um den Anzug anzuziehen. Erst nach der Beseitigung von Verschwendung und wesentlicher Verbesserungen im Produktionssystem können Methoden wie Kanban sinnvoll eingesetzt werden“ (SHINGO 1989 S. 67).<sup>22</sup>*

---

<sup>22</sup> Some people imagine that Toyota has put on a smart new set of clothes, the kanban system, so they go out and purchase the same outfit and try it on. They quickly discover that they are much too fat to wear it! They must eliminate waste and make fundamental improvements in their production system before techniques like kanban can be of any help.

Shingo weist auch bereits darauf hin, dass es eine gewisse Reihenfolge im Rahmen eines Einführungsprozesses von TPS gibt, die auf den Beziehungen der einzelnen Lean-Production-Methoden gründet, und gibt selbst eine Antwort auf die Frage nach der Einführungsreihenfolge (vgl. Abschnitt 4.2) (SHINGO 1989, S. 238).

Womack und Jones antworten in ihrem Buch „Lean Thinking“ auf die Implementierungsfrage wenig detailliert, indem sie die drei Elemente (Produktion im Fluss, Pull Production und das Streben nach Perfektion (vgl. WOMACK & JONES 1996)) als die aufeinander folgenden Hauptprozesse einer Lean-Production-Implementierung beschreiben. Diese sehr eingängige und fokussierte Reduzierung ist sicherlich richtig, jedenfalls von einem übergeordneten strategischen Standpunkt aus betrachtet. Sie ist jedoch zu einfach und zu abstrakt und daher nicht hilfreich, um Unternehmen bei der Einführung von Lean Production praktisch zu unterstützen.

Hinzu kommt, wie im Beispiel von Shingo beschrieben, dass Lean-Production-Methoden nicht einfach zu kopieren und um ihrer selbst willen einzuführen sind. Vielmehr sind diese Methoden im Laufe mehrerer Jahrzehnte auf Basis der spezifischen Bedürfnisse der Toyota-Werke entstanden. Durch das bloße Kopieren von Lean-Production-Methoden ist es noch keinem Unternehmen gelungen, die Erfolge von Toyota zu kopieren. Smalley begründet dies in seinem Aufsatz „TPS kontra Lean und das Gesetz der unbeabsichtigten Auswirkungen“ (SMALLEY 2005b)<sup>23</sup> damit, dass sich bei der Implementierung von TPS die Unternehmen häufig auf die Anwendung von Lean-Production-Methoden fokussieren, also bottom up, ohne die Ziele des Unternehmens ins Auge zu fassen und, von dort kommend, geeignete Lean-Production-Methoden zu identifizieren und diese dann zielgerichtet zu implementieren. Es sind verschiedene Bücher und Aufsätze zum Thema TPS geschrieben worden, die in ihrem Fokus zum Verständnis des TPS beitragen. Häufig findet sich jedoch auch in diesen nicht die Beschreibung, wie ausgehend von Unternehmenszielen die richtigen Lean-Production-Methoden auszuwählen und zu implementieren sind. Weiterhin befassen sich viele Autoren mit ausgewählten Ausschnitten des TPS, von denen sie überzeugt sind, dass es die wichtigsten sind. So behandelt bspw. das lesenswerte Buch „Learning to See“ von Rother (ROTHER & SHOOK 1998) intensiv die Thematik der Einführung der Methode Just in Time. Dies ist jedoch nur eine der beiden

---

<sup>23</sup> TPS vs. Lean and the law of unintended consequences.

Säulen des TPS. In vielen Veröffentlichungen ist trotzdem der Satz zu lesen, dass TPS die Einführung der Produktion im Fluss sei (SMALLEY 2005b). Dabei wird die zweite Säule Jidoka vollständig unterschlagen, die für Toyota und das TPS jedoch genauso wichtig ist wie Just in Time.

Der Untersuchungsrahmen der vorliegenden Arbeit ist auf die Interdependenzen zwischen den Lean-Production-Methoden fokussiert und darauf, welche Auswirkungen die Nutzung einer Methode bezogen auf eine andere Methode hat und daraus resultierend welches zeitliche Verhalten ein Lean-Production-System besitzt.

In den folgenden Abschnitten werden die bestehenden Veröffentlichungen zum Thema der Einführungsstrategie und Einführungsreihenfolge von Lean Production behandelt. Dabei wird zuerst auf die Literatur eingegangen, die einen systemischen Ansatz wählt, im Anschluss werden die sogenannten Phasenmodelle vorgestellt, gefolgt von weiteren alleinstehenden Ansätzen zur Definition und Einführung eines Lean-Production-Systems. Kapitel 4 schließt mit einer Diskussion der Literatur zur Auswirkungsmessung einer Einführung von Lean-Production-Methoden.

## **4.2 Lean-Production-Systemgestaltung und Implementierungsvorgehen**

### **4.2.1 Implementierung als System**

Eine Vielzahl bekannter Autoren zum Thema Lean Production befasst sich mit der Frage nach der Einführung von Lean-Production-Methoden und dem systemischen Charakter von Lean Production. Sie stimmen darin überein, dass sich nur Erfolge bei der Nutzung von Lean-Production-Methoden einstellen werden, wenn der dazugehörige systemische Charakter verstanden ist und die Methodenutzung auf die Bedürfnisse des eigenen Unternehmens abgestimmt ist.

Shook schreibt hierzu:

*„Schlanke Fertigung umfasst einige bestimmte Methoden, die ein aus einer Philosophie abgeleitetes System bilden. Der von dem Lean-Paradigma erwartete enorme Nutzen wird sich erst einstellen, wenn*

*dieser Zusammenhang verstanden ist und eine Einführung dementsprechend durchgeführt wird“ (SHOOK 1997, S. 45).<sup>24</sup>*

Liker sagt hierzu:

*„TPS ist ein System und nicht eine Menge isolierter Tätigkeiten, [...]“  
(LIKER 1997b, S. 7).<sup>25</sup>*

Er weist darauf hin, dass die Einführung von einzelnen Teilen eines Systems und nicht des ganzen Systems nicht nur einen begrenzten Nutzen hat, sondern auch der Grund für das Misslingen einer Einführung sein kann, da die eingeführten Methoden nicht die notwendige Unterstützung anderer Methoden haben, die nicht eingeführt wurden. Damit entspricht er der in Abschnitt 2.1.2.3 vorgestellten Definition von Systemen, die besagt, dass ein System seine Funktion verliert, wenn das System eines seiner Elemente verliert.

Bei der Einführung von Lean Production in einem produzierenden Unternehmen können jedoch niemals alle das System bestimmenden Methoden gleichzeitig eingeführt werden. Für eine umfassende Schulung der Mitarbeiter, die Gestaltung der benötigten Hilfsmittel und die Definition der Prozesse müsste die Produktion für Monate unterbrochen werden. Daher plädiert Liker für einen individuell gestalteten Implementierungsplan, um den unternehmensspezifischen Anforderungen gerecht zu werden (vgl. Abschnitt 4.2.2).

Quarterman hingegen sieht in dem Erstellen und Befolgen eines Implementierungsplans keine Erfolgsaussichten, da ein Plan immer unflexibel sei. Die Unternehmen hingegen, die Lean Production einführen wollen, besitzen immer unterschiedliche Anforderungen und Voraussetzungen. Er kommt daher zu folgendem Schluss:

*„Es ist sinnlos, bestimmte Werkzeuge und Methoden aufzunehmen, da diese nicht universell geeignet sind. Sinnvoll ist es vielmehr, das Denken und die Analysemethoden zu übernehmen; diese sind immer geeignet (QUARTERMAN 2003).“<sup>26</sup>*

---

<sup>24</sup> “Lean manufacturing includes a set of techniques that comprise a system that derives from a philosophy. The tremendous benefits promised by the lean paradigm will come about only if we understand and implement accordingly.”

<sup>25</sup> “TPS is a system, not a set of isolated practices.”

<sup>26</sup> Do not copy specific tools and techniques; they are not universal. Copy the thinking and analysis methods; they are universal.

Die beiden ersten Autoren umfassender Beschreibungen des TPS, Taiichi Ohno und Shigeo Shingo, waren systemisch denkend, da sie Ursache und Wirkung, Zusammenhänge und dynamisches Verhalten beachteten. Diese systemische Sicht auf Lean Production steht im Gegensatz zum „Denken in und Handeln nach Checklisten“ und vorgefertigten Handlungsabläufen. Ihrem Ansatz entsprechend ist jede Einführung von Lean Production systemisch zu betrachten und die Lösung entsprechend zu generieren. Ohno benennt hierzu eine Vielzahl an Interdependenzen, die sich in Kapitel 5 in den Beschreibungen der jeweils einzelnen Interdependenzen wiederfinden. Ohno selbst entwickelt keinen Plan und kein spezifisches Vorgehen für die Definition und Implementierung eines Lean-Production-Systems.

### Shingo

Shingo stellt neben einem sehr groben Ablaufplan zur Einführung, der auf seinem TPS-Systemverständnis basiert (s. Abbildung 24), ebenso einen Wirkzusammenhangsplan zwischen einzelnen Lean-Production-Methoden auf.

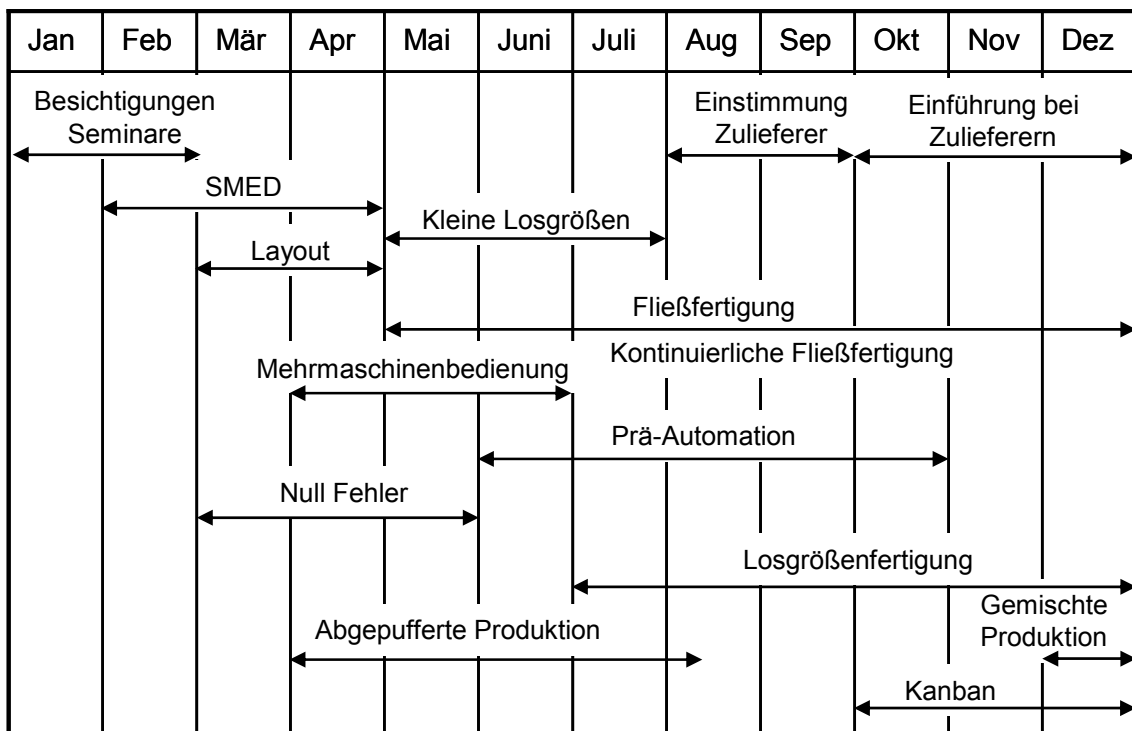


Abbildung 24: Einjahresplan zur Einführung eines Lean-Production-Systems in Unternehmen (nach SHINGO 1989, S. 223)

Shingo unterlässt es hierbei, beide Pläne miteinander zu verbinden, und er wird so dem Anspruch eines auf Interdependenzen basierenden Implementierungsvor-

## 4 Stand der Erkenntnisse

gehens nicht gerecht. So beginnt nach einer generellen Einführungsphase sein Plan mit der Einführung von SMED, einen Monat später gefolgt von Layout Improvement, ohne auf die, im Wirkzusammenhangsplan erwähnten anderen Methoden wie Mixed Production, Levelling, etc. einzugehen. Weiterhin beachtet Shingo hierbei nie die spezifische Ausgangssituation eines Unternehmens oder dessen strategische Ziele. Somit stellen seine beiden Pläne seine jahrzehntelangen Erfahrungen bei Toyota dar, ohne diese Erfahrungen an anderen Unternehmen zu reflektieren.

### Monden

MONDEN 1998 definierte einen Vorgehensplan (s. Abbildung 25), um den Zusammenhang von Instrumenten und Methoden des TPS zur Erreichung der Unternehmensziele darzustellen. Die von Monden empfohlene Implementierungsreihenfolge erfolgt dabei in Abbildung 25 von unten nach oben.

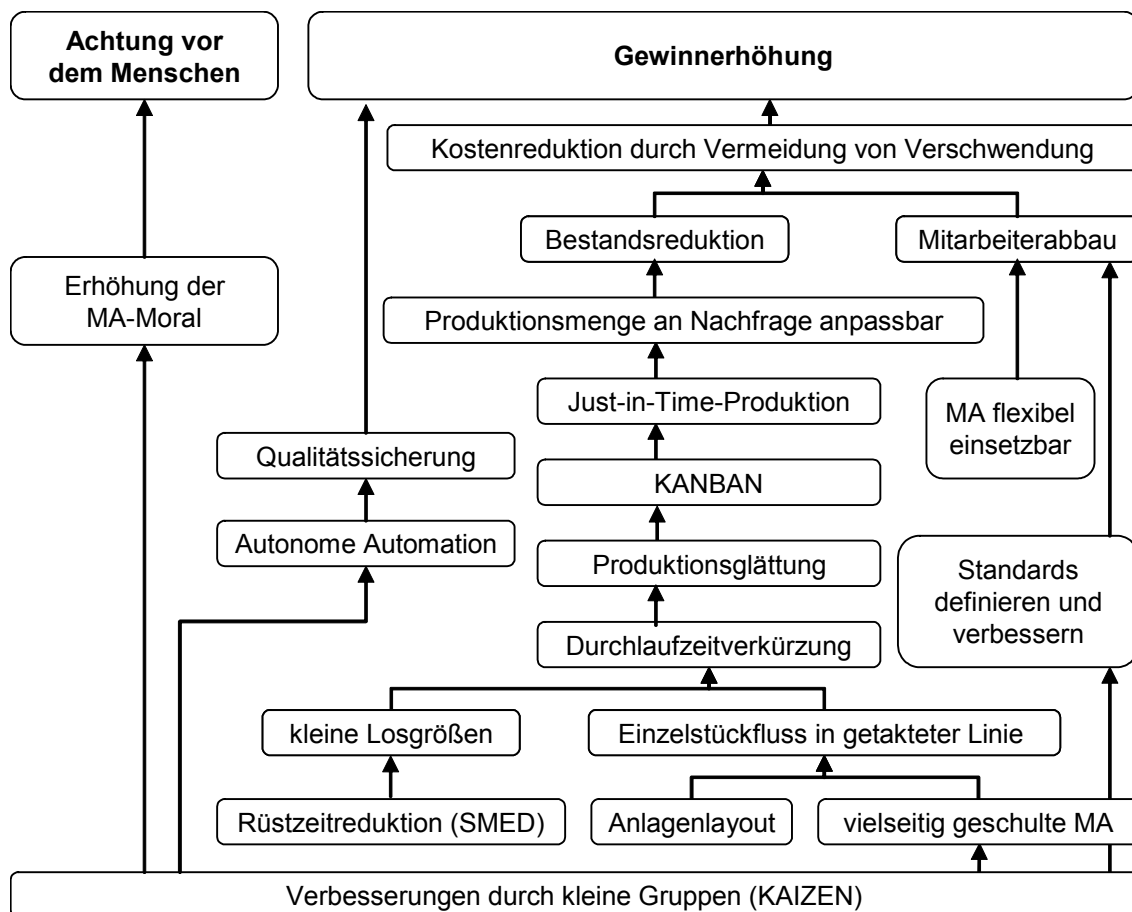


Abbildung 25: Abhängigkeiten von Methoden bei der Einführung von Lean-Production-Methoden (nach MONDEN 1997, S. 4)

Diese Reihenfolge generiert sich bei Monden aufgrund der Wirkbeziehungen zwischen den Methoden, die er aufgrund praktischer Erfahrungen gesammelt hat. Nach Monden führt eine singuläre Umsetzung einzelner Methoden nicht zum Unternehmenserfolg. Vielmehr empfiehlt er eine ganzheitliche Implementierung des TPS (SPEAR & BOWEN 1999). Monden unterscheidet nicht zwischen Unternehmenszielen und Methoden zu deren Erreichung.

Als Ziele des TPS nennt Monden Kosten, Stückzahl, Qualität und Menschlichkeit (MONDEN 1998, S. 4). Diese werden in seiner Darstellung der Abhängigkeiten von Methoden jedoch nicht weiter dargestellt oder nicht als Ziel sondern nur als Maßnahme behandelt. Monden bleibt in diesem Fall seinem logischen, wissenschaftlichen und umfassenden Anspruch nicht treu. Seine Implementierungsreihenfolge ist jedoch eine gute Möglichkeit, um eigene Erfahrungen an seinem Vorgehen zu spiegeln.

### **Takeda**

Takeda beschreibt das TPS als ein System und verbindet dies mit einer Einführungsreihenfolge von Lean-Production-Methoden. In Abbildung 26 ist das System und die Einführungsreihenfolge dargestellt.

Takeda empfiehlt seine Einführungsreihenfolge als Orientierungshilfe für alle Unternehmen, unabhängig vom Stand der Implementierung, den sie augenblicklich haben. Seinen Vorgehensplan bindet er dabei explizit nicht an die Unternehmensgröße. Das System basiert auf dem Respekt vor dem Menschen als demjenigen Akteur, der die Aktivitäten in der Produktion durchführt. Nach seinem Vorschlag beginnt die Einführung beim letztgelagerten Prozess, also bei der Kundenanbindung. Von dort ausgehend werden die Prozesse so gestaltet, dass als erstes Ziel die Sicherung der Gewinne erreicht wird. Hierzu ist die Reduzierung der Herstellungskosten (s. Abschnitt 3.1.3) bei gleichzeitiger Gewährleistung von hoher Qualität und hoher Flexibilität notwendig. Als Mittel hierzu führt Takeda zwölf Punkte auf, die in Abbildung 26 aufgelistet sind und deren Nummerierung auch die Reihenfolge seiner Implementierungsempfehlung darstellt.

## 4 Stand der Erkenntnisse

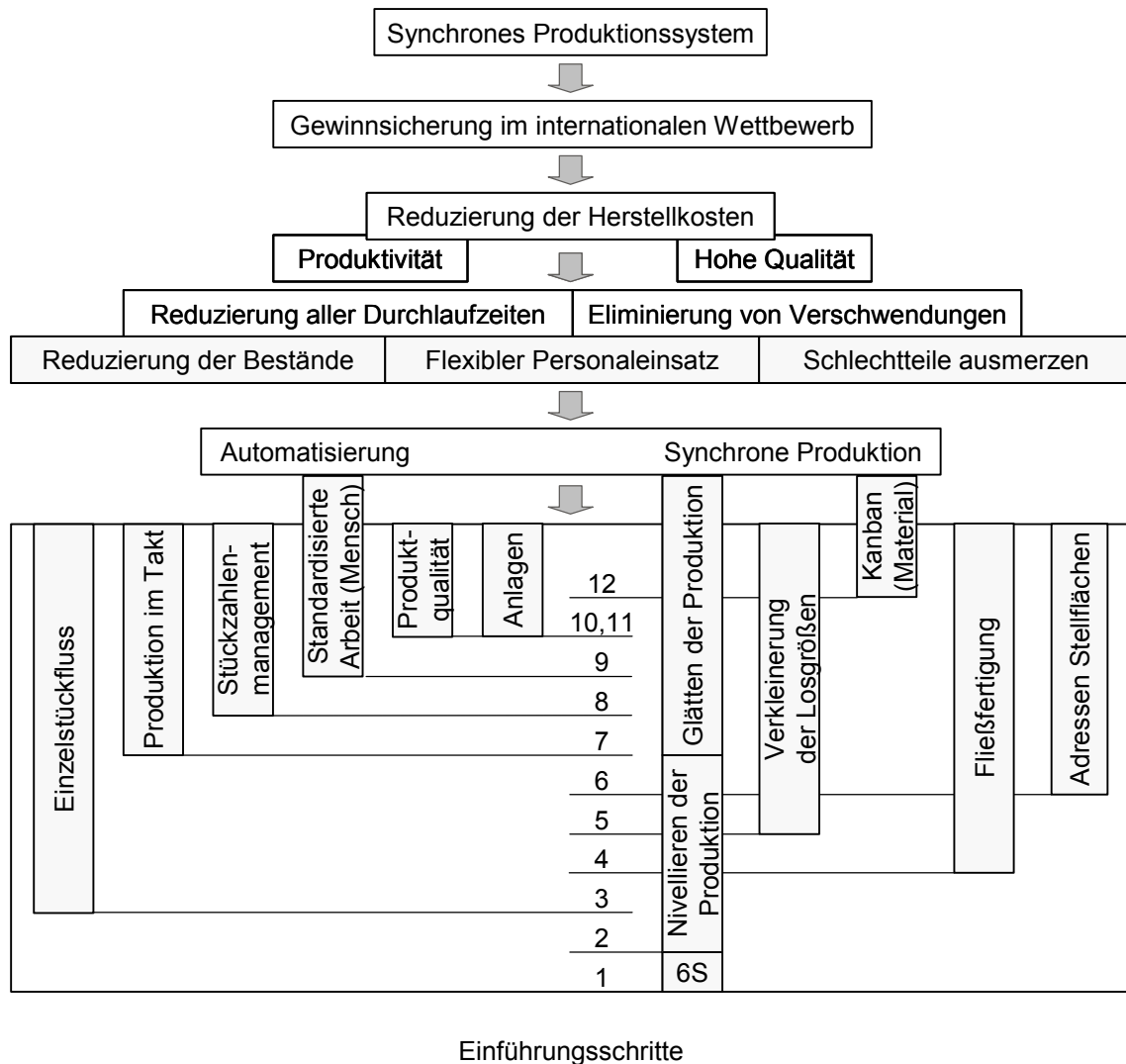
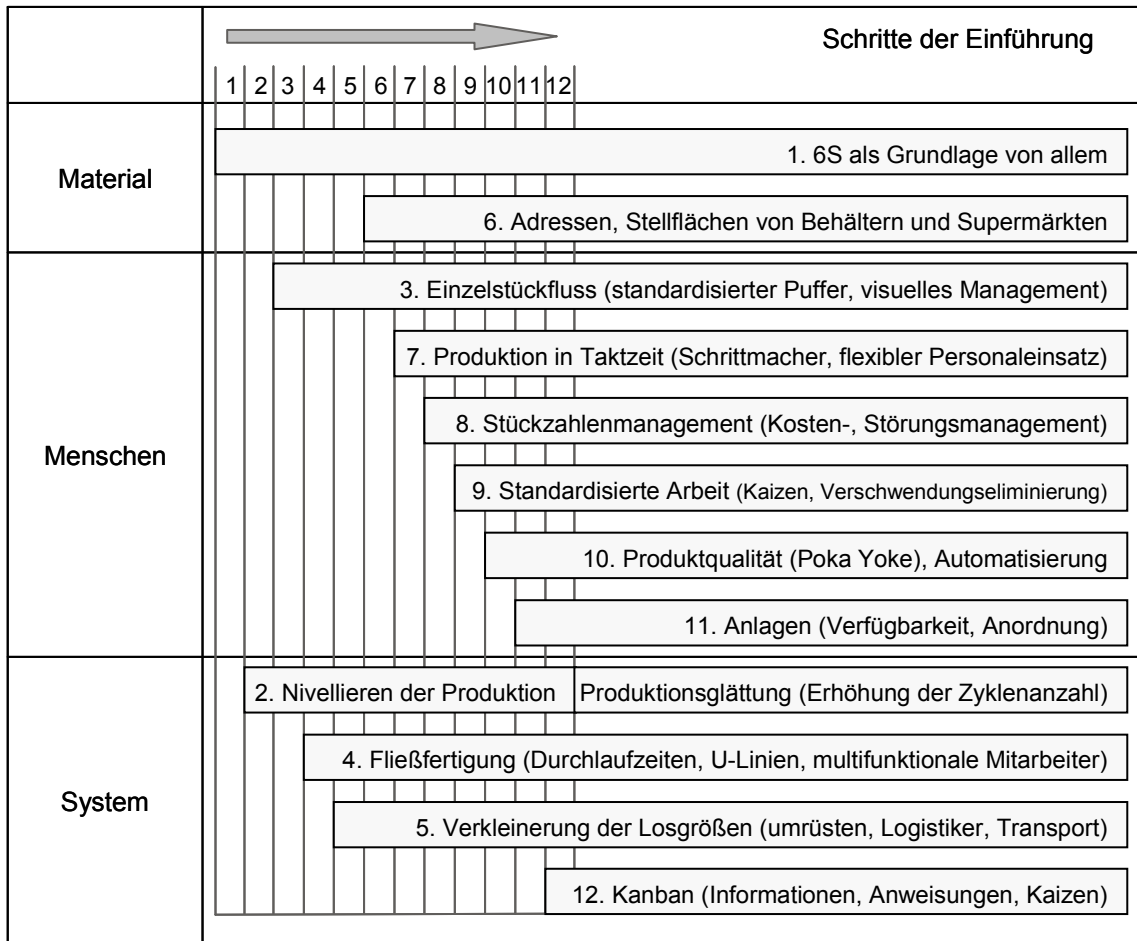


Abbildung 26: Systemdarstellung des TPS durch Takeda und Meynert sowie Einführungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 22)

Der von Takeda entwickelte Implementierungsprozess unterscheidet sich stark von dem Prozess anderer Autoren (vgl. Abbildung 27).

Er ist von Beginn an strikt auf die nivellierte Produktion im Fluss ausgerichtet. Die Veränderung der eigenen unternehmensinternen Wertschöpfungskette startet bei Takeda daher beim letzten Produktionsprozess in Kundenrichtung. Zwischen Kunden und letztem Prozess wird ein Fertigwarenlager eingerichtet, das zur Pufferung der unregelmäßigen Kundenabrufe dient.





*Abbildung 27: Einführungsschritte für das TPS (nach TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 22 ff.)*

Der letzte Produktionsprozess produziert geglättet in diesen Puffer hinein und wird hinsichtlich der realen Kundenabrufe optimiert. Wenn der Prozess fähig ist, die Kundenabrufe abzubilden, wird der Fertigteilpuffer einen Prozess flussaufwärts verlegt, so dass sich zwischen Unternehmen und Kunden kein Puffer befindet und damit der letzte Prozess und die Auslieferung an den Kunden ineinander übergehen. Dieses Verschieben des Puffers und Anpassen des jeweiligen Prozesses vor dem Puffer an reale Abrufe wird so lange vollzogen, bis das Unternehmen nur noch einen Teilepuffer besitzt, in den die Zulieferer hinein produzieren. Dabei ist zu beachten, dass dieses Verschieben des Puffers voraussetzt, dass die Durchlaufzeit (DLZ) immer niedriger als die vom Kunden geforderte Lieferzeit ist.

Takeda geht nicht darauf ein, inwieweit sich sein Implementierungsvorschlag für verschiedene Unternehmen unterscheidet. Ebenso gibt er keine Hinweise auf die Einführung einzelner Methoden außer der Reihenfolge, die in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt ist.

### **Oeltjenbruns**

Nach Oeltjenbruns lassen sich neun Hauptelemente eines Lean-Production-Systems identifizieren. Diese wiederum bestehen aus eindeutig identifizierbaren Subelementen. Oeltjenbruns nutzt damit den Systemgedanken zur strukturierten Analyse des TPS. Der systemische Anteil besteht bei ihm darin, die Wirkbeziehungen zwischen den Subelementen darzustellen. Da die Subelemente eindeutig Hauptelementen zugeordnet sind, ergeben sich hieraus resultierende Abhängigkeiten zwischen Hauptelementen. Als Hauptelemente definiert Oeltjenbruns: flexible Produktion, Arbeitsplatzorganisation, kontinuierliche Verbesserung, Qualität, Standardisierung, Visualisierung, Jidoka und Stabilität, Pull-System, Qualifizierung und Total Productive Maintenance (OELTJENBRUNS 2000, S. 275).

Er trennt nicht zwischen Zielen und Methoden zur Zielerreichung wobei auch die Beschreibung der Auswirkung der Nutzung einer Methode auf Ziele oder deren Erreichung ausbleibt. Zusätzlich bedeutet die Übertragung der Verknüpfungen von Subelementen auf Hauptelemente einen wesentlichen Detaillierungsverlust. Im Hinblick auf die Fragestellung in der vorliegenden Arbeit kann Oeltjenbruns' Resultat nicht genutzt werden, da Ziele und Methoden nicht getrennt werden und die Wirkbeziehungen der einzelnen Methoden nur noch abstrahiert über Hauptelemente des Produktionssystems dargestellt sind.

### **4.2.2 Phasenmodelle**

Der Übergang von einem systemischen Implementierungsansatz hin zu einem Implementierungsmodell, das in Phasen aufgebaut ist (Phasenmodell), ist fließend. Dies ergibt sich aus der Komplexität eines Lean-Production-Systems, welche verringert werden kann, indem durch sequentielle Einführungsstrategien auf Basis definierter Ziele und Interdependenzen das Gesamtsystem in logische Subsysteme gegliedert wird. Dementsprechend nehmen die Phasenmodelle häufig Bezug auf die systemische Gestaltung eines Lean-Production-Systems. Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen Phasenmodelle vorgestellt. Sie bestehen meist aus vier bis fünf Phasen, die dahingehend vergleichbar sind, dass sie eine Einführungsreihenfolge von den einfachen Methoden wie z.B. 5S hin zu den komplexen Methoden wie z.B. Produktionsglättung postulieren.

### **Womack und Jones - Fünf-Phasen-Modell**

Womack und Jones haben aufgrund ihrer Beobachtungen in internationalen Automobilwerken einen Aktionsplan für die Implementierung von Lean Production

im Unternehmen definiert (vgl. WOMACK & JONES 1996). Im ersten Teil ihres Buches präsentieren sie den Vorgehensplan und beschreiben ihn anschließend ausführlich. Der Vorgehensplan besteht aus folgenden fünf Phasen:

1. Wert verstehen als das, was der Kunde kaufen will und was dem Kunden nützt und ihm Zufriedenheit bringt. Mit diesem Prinzip wird der Blick darauf gerichtet, den Kunden nur mit dem zu beliefern, was er für wertvoll hält und wofür er bereit ist, einen entsprechenden Preis zu zahlen. Dies ist die Basis für die Identifikation von Wertschöpfung und darauffolgende Eliminierung von Verschwendung. Umgekehrt sind als Verschwendung alle Tätigkeiten zu verstehen, die den Prozess, Material und Informationen in Kundenzahlungen umzusetzen, verzögern oder verhindern.
2. Den Wertstrom und die unternehmensinternen Tätigkeiten identifizieren, die für die Umsetzung eines Kundenauftrags in Fertigprodukte notwendig sind oder die mit dem Entwurf neuer Produkte verbunden sind. Der Wertstrom wird über die Frage, wie der Kundenwunsch befriedigt wird, erkannt. Nachdem verstanden worden ist, wie die Produkte entwickelt und produziert werden, können die jeweiligen Prozesse verbessert und danach der Fokus auf Lieferanten und Kunden verbreitert werden, um weitere Verschwendungen zwischen den Unternehmen, die an der Erfüllung der Kundenanforderungen beteiligt sind, zu eliminieren.
3. Die Produktion im Fluss umsetzen, um alle Materialien und Informationen in konstanter Bewegung zu halten, damit das Material ohne Verzögerung oder Störung direkt zum Kunden fließt. Die Bevorratung von Material zwischen Prozessen führt zu höheren Kosten und zu einem größeren Anteil des gebundenen Kapitals.
4. Eine bedarfsgesteuerte Ziehproduktion einsetzen, wenn eine Fließproduktion nicht umsetzbar ist (bspw. aufgrund der Kundenanzahl, kurzen Durchlaufzeiten, dem Technologiebedarf oder Losgrößen). Lieferungen können damit aus einem entsprechend dimensionierten Puffer entnommen werden und dieser kann durch die vorgelagerte Produktion wieder aufgefüllt werden. Bei entsprechender Güte eines Schanken Produktionssystems ist es auch möglich, dass die internen Kunden-Lieferanten-Verbindungen durch jeweils einen kleinen definierten Bestandspunkt verknüpft sind und die Kundenaufträge so durch die Produktion gezogen werden können. Dieses System wird bei Toyota *Kanban* genannt und führt

## 4 Stand der Erkenntnisse

---

gleichzeitig zu erhöhter Verfügbarkeit von Produkten und kürzeren Durchlaufzeiten.

- Das Streben nach Perfektion in jedem Aspekt des Unternehmens und seine Kunden- bzw. Lieferantenbeziehungen ist der letzte Umsetzungsschritt in einem schlanken Produktionssystem. Hiermit betonen die Autoren den Einsatz von Problemlösungsgruppen, um die letzten Verschwendungen und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zu beseitigen.

Stufe	Einzelne Schritte	Zeitraumen
Startphase	Finden Sie einen Change-Agenten! Erwerben Sie das schlanke Wissen! Finden Sie einen Hebel! Zeichnen Sie die Wertströme auf! Beginnen Sie mit Kaikaku! Dehnen Sie Ihre Zuständigkeit aus!	Die ersten sechs Monate
Aufbau einer neuen Organisation	Reorganisieren Sie nach Produktgruppen! Schaffen Sie eine schlanke Funktion! Entwickeln Sie eine Politik für die überschüssigen Mitarbeiter! Entwerfen Sie eine Wachstumsstrategie! Entlassen Sie die Bremsen! Impfen Sie ein „Perfektionsdenken“ ein!	Sechs Monate bis zum Ende des zweiten Jahres
Einführung von Unternehmenssystemen	Führen Sie ein schlankes Rechnungswesen ein! Bezahlen Sie in Relation zur Unternehmensleistung! Führen Sie Transparenz ein! Initiieren Sie einen strukturierten Planungsprozess! Führen Sie schlankes Lernen ein! Suchen Sie nach miniaturisierten Werkzeugen!	Drittes und viertes Jahr
Vervollständigung der Transformation	Wenden Sie diese Schritte bei Ihren Zulieferern und Kunden an! Entwickeln Sie eine globale Strategie! Gehen Sie von einer Top-down zu einer Bottom-up-Verbesserung über!	Ende fünftes Jahr

*Tabelle 10: Aktionsplan zur Einführung von Lean Production (nach WOMACK & JONES 1997, S. 344)*

Womack und Jones bieten auch eine Kurzfassung dieses Planes:

*„Der Trick liegt einfach darin, die richtigen Führungskräfte mit dem richtigen Wissen zu finden und mit der Wertschöpfung an sich anzufangen, wobei man schnell dramatische Veränderungen in der Art, wie Routinearbeiten erledigt werden, einführt. Der Bereich der Ände-*

*rungen muss dann ständig ausgeweitet werden und schließlich das ganze Unternehmen und alle Geschäftsprozesse einschließen. [...] dann muss man damit anfangen, weit über die Grenzen des eigenen Unternehmens hinauszuschauen und die vor- und nachgelagerten Ebenen in den Blick zu nehmen, um das Ganze zu optimieren.“ (WOMACK & JONES 1997, S. 312).*

Dieses aktivitätsbezogene Vorgehen haben Womack und Jones in eine organisatorisch höhere Betrachtungsebene versetzt und einen Zeitrahmen mit Aktivitäten entwickelt (vgl. Tabelle 10). Dieser Aktionsplan von Womack und Jones ist eine grobe Handlungsanleitung für das obere Management zur Einführung von Lean Production. Womack und Jones verbleiben auf dieser groben Ebene. Sie überlassen damit die Entwicklung und Vorgehensweise der Implementierung dem mittleren Management, das ihrer Meinung nach eigens dafür auszuwählen oder ggfs. zu entlassen ist. Eine Reihenfolge für die Implementierung von Methoden oder spezielle Methodenhinweise zeigen sie nicht auf.

### **Liker - Fünf-Phasen-Modell**

Liker stützt sich bei der Formulierung seines Fünf-Phasen-Modells auf den Fünf-Phasen-Prozess von Ford und Toyota.

*„Der von Ford entwickelte fünf-phasige Prozess ist in der Einführungspraxis häufig anzutreffen und ist fast gleich dem Prozess, der von dem Toyota Supplier Support Centre durchgeführt wird (obwohl die tatsächliche Umsetzung etwas variiert)“ (LIKER 1997a, S. 20).<sup>27</sup>*

Bei der Einführung dieser fünf Phasen ist von innen nach außen vorzugehen. Damit meint Liker, dass das Lean-Production-System zuerst unternehmensintern einzuführen ist, weil die internen Prozesse die größte Herausforderung darstellen. Nach einer erfolgreichen unternehmensinternen Einführung sollen die Lieferanten mit einbezogen werden.

In Phase eins nennt Liker eine Vielzahl grundlegender Lean-Production-Methoden, die einzuführen sind (s. Tabelle 11). Da in der ersten Phase diese Menge an Methoden vorgeschlagen ist, in denen die Mitarbeiter erst geschult werden müssen, benötigt diese Phase eine gewisse Zeit, um sichtbare und nach-

---

<sup>27</sup> “The five-phase process Ford developed is not unusual in the lean manufacturing business and in fact is virtually the same as the process used by the Toyota Supplier Support Centre (though its actual implementation differs between Ford and Toyota)”.

## 4 Stand der Erkenntnisse

---

haltige Erfolge zu erzielen. Dabei besteht die Gefahr, über diesen längeren Zeitraum in der Realisierung auf der Stelle zu treten und nicht die nächste Phase zu erreichen.

	Phase	Methoden und Werkzeuge
1.	Stabilität	Problemlösungsaktivitäten / Fähige Prozesse / TPM / SMED / Standardarbeitsblätter / Poka Yoke / 5S
2.	Kontinuierlicher Fluss	Einzelstückfluss / Flexibles Layout
3.	Synchrone Produktion	Taktzeit
4.	Ziehprinzip	
5.	Produktionsnivellierung	

*Tabelle 11: Fünf-Phasen-Plan nach Liker angelehnt an Ford und Toyota (vgl. LIKER 1997a, S. 20 ff.)<sup>28</sup>*

Ziel der Phase zwei ist die Produktion im kontinuierlichen Fluss von Station zu Station mit einer maximalen Flexibilität für schnelle Produktwechsel an den einzelnen Stationen.

In Phase drei ist es das Ziel, die stabilen, fähigen Prozesse an den Arbeitsplätzen, die bereits in einer Produktion im Fluss arbeiten, miteinander zu synchronisieren, um so zu einer stabilen und wenig schwankenden Auslastung der einzelnen Arbeitsplätze zu kommen.

Phase vier bezieht sich auf die Einrichtung der Ziehproduktion. Die Aktivitäten in dieser Phase zielen dabei vor allem auf die Kundenabrufe, die neue Produktionsaufträge generieren, aber auch schon auf die Integration der Zulieferer, die nach dem eigenen Verbrauch gesteuert werden.

Phase fünf schließlich befasst sich mit der Einrichtung der geglätteten Produktion und wird von Liker als „*das endgültige Ziel*“<sup>29</sup> bezeichnet. Glättung bezieht sich dabei auf die Menge und den Mix der nachgefragten Güter. Dies setzt voraus, dass jeder Prozess innerhalb der Produktion stabil läuft, schnelle Produktwechsel vorhält und damit nach der Philosophie „*jeden Tag, jedes Teil*“<sup>30</sup> (LIKER 1997b, S. 21) gefertigt werden kann.

---

<sup>28</sup> 1. Stability 2. Continuous flow 3. Synchronous production 4. Pull system 5. Level production.

<sup>29</sup> ultimate goal

<sup>30</sup> every part, every day

Liker hat in dem von ihm herausgegebenen Buch, das verschiedene Implementierungsbeschreibungen der jeweils verantwortlichen Manager enthält, dieses Fünf-Phasen-Modell als gemeinsame Herangehensweise identifiziert. Diese Sammlung unterschiedlicher Implementierungsvorgehen aus Praxissicht ist für Anwender, die mit der Implementierung von TPS betraut sind, eine großartige Fundgrube an Wissen. Es handelt sich jedoch um eine Sammlung von Einzelfällen, die nicht wissenschaftlich analysiert oder abstrahiert werden. Aufgrund ihrer sehr praxisorientierten und nicht strukturierten Fokussierung im Vorgehen eignen sich die weiteren Beispiele im Buch nicht zur Nutzung für die vorliegende Arbeit.

### **Rich et al. - Fünf-Phasen-Plan**

In ihrem Buch „Lean Evolution“ entwerfen die Autoren auf Basis eines 3-jährigen Forschungsprojektes einen Leitfaden für eine Lean-Production-Implementierung (vgl. RICH et al. 2006).

Ausgangspunkt der Betrachtung ist die für jedes Unternehmen individuelle Konfiguration an Produkten, Kunden und Lieferanten. Aus den verschiedenen Konfigurationen entstehen unternehmensspezifische Anforderungen an Prozesse.

*„Der Weg zur Lean Production ist für jedes Unternehmen unterschiedlich. Deshalb sollte Lean Thinking nicht als ein Werkzeugkasten betrachtet werden, der unüberlegt angewendet wird, in der Hoffnung, dass sich eine irgendwie geartete Verbesserung einstellt. Lean Thinking hat eine klare Logik und ein Vorgehen zur Verbesserung, bei dem an jedem Schritt die jeweils passenden Werkzeuge ausgewählt werden müssen, um die eigenen Probleme zu lösen. In diesem Sinn ist jeder „Weg zur Lean Production“ unternehmensspezifisch und abhängig von den jeweiligen Anforderungen“ (RICH et al. 2006, S. 18 f.).<sup>31</sup>*

---

<sup>31</sup>“The ‘lean journey’ of change management and improvement is however a journey that is unique to each company. ... Lean thinking should therefore not be seen as a box of techniques that can be applied indiscriminately in the hope that improvement will result; lean thinking has a distinct logic and a process of improvement where, at each stage, you must select the appropriate tools to solve your own problems. ... In this manner, the application of ‘lean thinking’ is unique to each business, to its problems and its relationship with its customers and suppliers”.

## 4 Stand der Erkenntnisse

---

Phase	Methoden und Werkzeuge (beispielhaft)
1. Ordnung, Sauberkeit und Arbeitsmoral	5S / Visualisierung / KVP
2. Qualitätsverbesserung	Poka Yoke / TPM
3. kontinuierlicher Fluss	Just in Time / Einzelstückfluss
4. Kostensenkung	
5. Flexibilitätserhöhung	

Tabelle 12: *Fünf-Phasen-Plan (nach RICH et al. 2006)*

Rich et al. propagieren ein fünfstufiges Vorgehen, um Lean Production zu implementieren. Die vorgeschlagenen Phasen sind in Tabelle 12 dargestellt, der Fokus je Schritt in Abbildung 28 (vgl. RICH et al. 2006, S. 28 ff.).

Der erste Schritt bei einer Lean-Production-Implementierung ist demnach die Verbesserung hinsichtlich Ordnung, Sauberkeit und Arbeitsmoral. Als zu benutzende Methoden werden angegeben: 5S, Visualisierung und KVP. Die ersten Effekte werden sowohl Ordnung, als auch, daraus resultierend, eine verbesserte Qualität der Prozesse sein, was sich in der reduzierten Zahl an Unfällen in der Fabrik spiegeln wird.

Der zweite Schritt ist auf die Verbesserung der Qualität ausgelegt und beinhaltet alle bekannten Methoden zur Qualitätsverbesserung wie Poka Yoke oder TPM. Rich et al. benennen als wichtigsten Effekt dieser zweiten Phase nicht die Reduktion der Qualitätsprobleme, sondern eine massive Kostenreduktion. „*Eine nachhaltige Kostenreduktion kann durch ein verbessertes Produktionssystem und bessere Unternehmensverwaltung erreicht werden*“ (RICH et al. 2006, S. 28).<sup>32</sup>

Der dritte Schritt baut auf stabilen Prozessen auf, die sichere Produkte fertigen, und ist auf den kontinuierlichen Fluss konzentriert. Als Methoden kommen dabei diejenigen in Frage, die sich einem kontinuierlichen Fluss zuordnen lassen wie JiT und Einzelstückfluss. Ziel ist es, eine insgesamt kürzere Wiederbeschaffungszeit für die Kunden zu realisieren. Die Autoren weisen darauf hin, dass die Implementierung einer kontinuierlichen Fließfertigung nach der Sicherstellung der Qualität zu erfolgen hat. Das Resultat der Einführung einer Fließproduktion vor der Befähigung zu sicheren Prozessen wäre ein schnelleres Befördern defek-

---

<sup>32</sup> “The sustainable way of reducing costs is to improve the quality of the production system and the administration of the firm”.



ter Teile innerhalb der Fabrik, was zur Folge hätte, dass Defekte erst später erkannt würden. Dies würde Qualitätsprobleme fördern und Kosten in die Höhe treiben.

Die vierte Phase konzentriert sich auf die Kosten, die durch Bestandssenkungen eingespart werden können, was aufgrund sicherer Prozesse und einer Produktion im Fluss ein geringes Risiko bedeutet. Parallel dazu oder leicht verzögert wird die Erhöhung der Flexibilität adressiert. Ziel ist es dabei, neue Produkte in die bestehende Fertigung zu integrieren und notwendige Standards zu setzen. Nach dieser Phase ist der Zyklus einmal durchlaufen und beginnt von vorne, alle neuen Produkte beginnen wieder bei Phase 1. In diesem Sinne ist das vorgestellte Modell ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess.

Obwohl die Reduktion von Kosten das eigentliche Ziel von Lean Production ist (vgl. SMALLEY 2005a), fokussieren sich Rich et al. erst im vierten Schritt auf die direkte Reduktion von Kosten. Diese vermeintlich späte Fokussierung auf den Kostenaspekt der Fertigung resultiert aus dem systemischen Verständnis der Autoren bzgl. Lean Production und einem tiefen Verständnis für die Zusammenhänge der Zielkriterien Zeit, Kosten, Qualität und Zuverlässigkeit (vgl. Sandhügelmodell nach FERDOWS & DE MEYER 1990, s. Abschnitt 5.1).

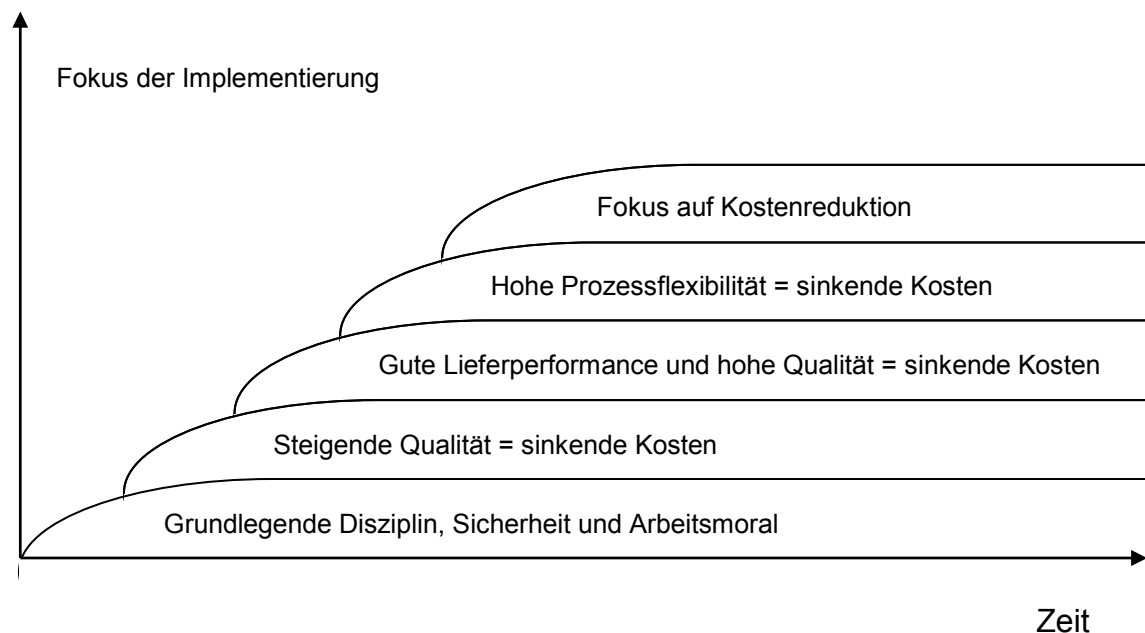


Abbildung 28: Lean-Production-Implementierungsschritte (nach RICH et al. 2006)

Rich et al. betonen zu Beginn ihrer Ausführungen, dass eine Implementierung immer unternehmensspezifisch und die genutzten Methoden immer problembezogen einzusetzen seien. Dies hindert die Autoren nicht daran, trotzdem eine allgemeingültige Vorgehensweise zu definieren, unabhängig von Situation des Unternehmens. Damit werden Sie ihrem eigenen Anspruch der zielorientierten Nutzung der einzelnen Methoden nicht gerecht. Trotzdem ist ihr Ansatz durch das Einbringen von Zyklen systemisch geprägt. Die von Rich et al. beschriebenen Wirkzusammenhänge sind in die vorliegende Arbeit eingeflossen.

### **Drew et al. - Fünf-Phasen-Modell**

Drew et al. identifizieren auch fünf Phasen zur Implementierung von Lean Production im Unternehmen. Dabei unterstellen sie, dass trotz unterschiedlicher Unternehmenscharakteristika die meisten Betriebe diese fünf Phasen durchlaufen. Die erste Phase ist die Überprüfungsphase, in der die Manager sich bewusst für die Implementierung von Lean Production entscheiden. Die zweite Phase ist eine Ist-Analyse des Unternehmens hinsichtlich der Abläufe, der Organisation und des Mitarbeiterpotentials, abgeschlossen von der Feststellung des Verbesserungspotentials. In der dritten Phase wird der Soll-Zustand beschrieben, eine Vision festgelegt und jeder Beteiligte auf diese Vision verpflichtet. Phase vier stellt die Einführung eines Pilotprojekts mit dem Ziel dar, die Mitarbeiter von Lean Production zu überzeugen. Dabei erfolgt nicht selten eine Adaption des TPS an das eigene Unternehmen. In der letzten Phase werden die Veränderungen auf das gesamte Unternehmen übertragen. Diese Veränderungen bilden die Plattform für eine kontinuierliche Verbesserung sämtlicher Abläufe (DREW et al. 2005, S. 29 f.).

Drew et al. beschreiben damit ein typisches Top-Down-Vorgehen bei der Implementierung von Lean Production ohne jedoch eine konkrete Abfolge von Methodenimplementierung zu benennen. Ebenso fehlen Ausführungen zu Wirkzusammenhängen zwischen einzelnen Lean-Methoden. Der Ansatz ist eher als technische Übertragung aus dem Projektmanagement zu betrachten. Die vorgeschlagene Vorgehensweise hat sicher Ihre Berechtigung, liefert jedoch für die Beantwortung der Fragestellung im Rahmen der vorliegenden Arbeit keine weiteren Anhaltspunkte.

### **Groesbeck und Rivera &Chen- Vierphasige Implementierungswellen**

Groesbecks vierphasiger Einführungsplan (s. Abbildung 29) ist bei RIVERA & CHEN 2007 zu finden und in vier Implementierungswellen aufgeteilt. Der Plan

greift die Ideen existierender Pläne auf und vereinigt die beiden Vorgehensweisen „*Methoden vom Einfachen zum Komplexen anwenden*“ sowie „*von innen nach außen*“ verbessern.

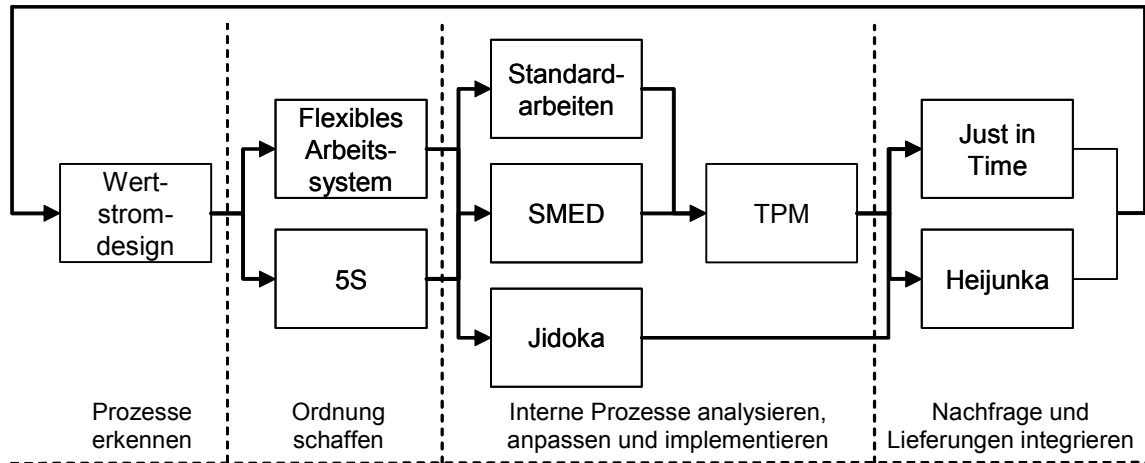


Abbildung 29: Implementierungsplan für Lean Production nach Groesbeck (zitiert bei RIVERA & CHEN 2007, S. 688)

RIVERA & CHEN 2007 nutzen diesen Plan als Grundlage für ihren Einführungsplan, der auch in vier Phasen unterteilt ist, die sie als Wellen bezeichnen (s. Abbildung 30). Die erste Welle hat dabei das Ziel der Zeitverkürzung. Dieses Ziel soll durch die produktorientierte und damit wegeoptimierte Aufstellung der Produktion erreicht werden. Als Lean-Production-Methoden nennen die Autoren Gruppenarbeit, U-Layout und produktorientierte Fabriken sowie die Methode 5S (vgl. RIVERA & CHEN 2007, S. 688).

Als zweite Welle werden die Durchlaufzeiten bei gleichzeitiger Prozessverbesserung und -standardisierung optimiert. Genutzte Methoden hierbei sind Standardisierung, SMED, Jidoka und TPM. Zum Ziel der Reduzierung der Prozesszeiten kommt in Welle zwei das Ziel der Kostenreduktion hinzu.

Welle drei fokussiert sich wieder auf die Zeitreduktion, die diesmal durch die Einführung einer Ziehproduktion erreicht werden soll. Durch die Einführung von Kanban als Steuerungsprinzip versprechen sich die Autoren eine Reduzierung des Work in Progress (WIP) und damit eine schnellere Durchlaufzeit der einzelnen Produkte.

## 4 Stand der Erkenntnisse

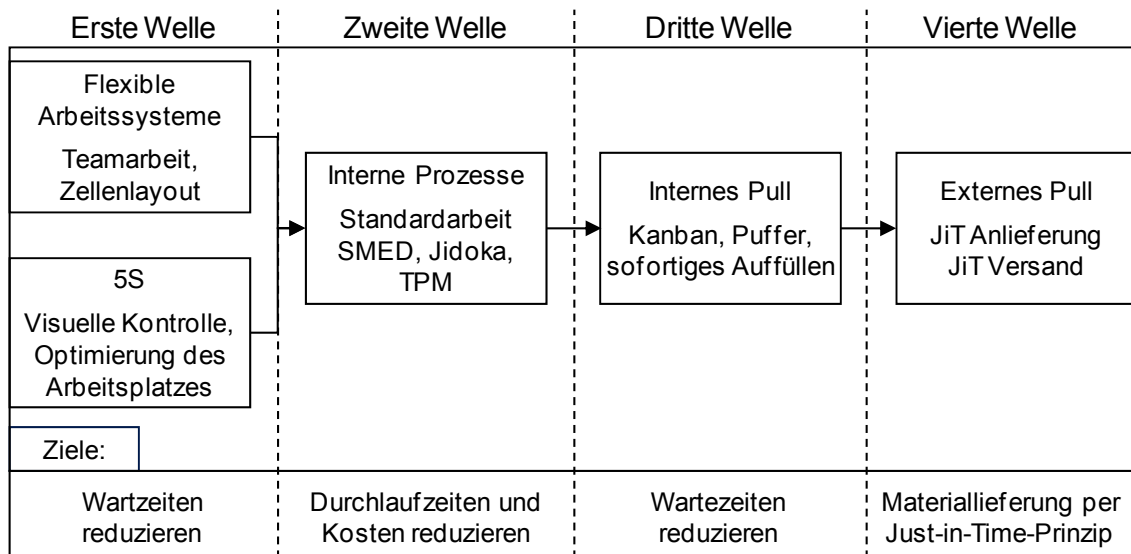


Abbildung 30: Implementierungswellen von Lean Production (nach RIVERA & CHEN 2007, S. 688)

Im vierten Schritt schließlich wird die Ziehproduktion auf die Zulieferer und die Lieferungen zum Kunden ausgeweitet, was sich sowohl auf die Kosten als auch die Wiederbeschaffungszeit positiv auswirken soll. In einer weiteren Tabelle (vgl. Tabelle 13) geben Rivera und Chen einen Überblick über die Auswirkungen der Lean-Production-Methoden auf die Zielgrößen (RIVERA & CHEN 2007, S. 689).

Rivera & Chen haben sich intensiv mit den Fragen der Implementierungswellen beschäftigt und eine detaillierte Abfolge an Methoden erstellt. Sie berücksichtigen dabei jedoch nicht die Frage nach aktuellen Implementierungsdichten in Unternehmen. Dennoch sind die von Rivera & Chen beschriebenen Zusammenhänge und Auswirkungen in die Wirkzusammenhänge dieser Arbeit eingeflossen.

Werkzeug oder Methode	Zielgrößen, in denen Verbesserungen zu erwarten sind
Gruppenarbeit	Wartezeiten
Fertigungsinseln	Wartezeiten
Produktorientiertes Layout	Wartezeiten
5S	Wartezeiten, Durchlaufzeiten
Visualisierung	Wartezeiten, Durchlaufzeiten, Kosten
Standardisiertes Arbeiten	Durchlaufzeiten, Kosten
Rüstzeitreduktion	Durchlaufzeiten, Kosten
Jidoka / Autonomation	Durchlaufzeiten, Kosten, Bestände
TPM	Kosten, Bestände
Kanban	Wartezeiten
Schneller Nachschub	Wartezeiten
JiT-Beschaffung	Wartezeiten
JiT-Auslieferung	Wartezeiten

*Tabelle 13: Auswirkungen von Lean-Production-Methoden auf die Zielgrößen Zeit, Kosten und Bestände (RIVERA & CHEN 2007, S. 689)*

### **Reinhart et al. - Einführungsmodell in sechs Phasen**

Einen systematischen Ansatz zur Einführung von Lean Production für die Massen- und Serienfertigung in sechs Phasen entwerfen Reinhart et al. (vgl. Abbildung 31). Jeder Phase werden dabei verschiedene Methoden zugeordnet, die im Rahmen der Phase zu implementieren sind. Die Einführung startet auf der untersten Prozessebene und endet bei den fabrikübergreifenden Prozessen. Die Reihenfolge der Methodennutzung ähnelt dabei dem Vorgehen von Grosbeck sowie Rivera & Chen. Zuerst werden Methoden genutzt, die für Standardisierung und Transparenz in der Produktion sorgen. Im Anschluss daran werden die Prozesse stabilisiert und so der Boden bereitet für die Einführung einer internen Ziehproduktion. Wenn diese verwirklicht ist, wird die Auftragseinlastung geglättet und die externe Ziehproduktion kann implementiert werden. Begleitet wird die Implementierung durch eine kontinuierliche Erfolgsmessung, die im Rahmen von jährlichen Audits vollzogen wird.

Reinhart et al. stellen damit einen nicht holistischen linear verlaufenden Implementierungsplan ohne Berücksichtigung der individuellen Ausgangssituation von Unternehmen vor der Einführung auf. Die Betrachtung enthält teilweise die Be-

rücksichtigung von Wirkzusammenhängen, was sich in den logisch aufeinander aufbauenden Phasen widerspiegelt. Die Autoren beschreiben Auswirkungen auf Kennzahlen, berücksichtigen jedoch keine dynamischen Effekte in ihrem Vorgehen.

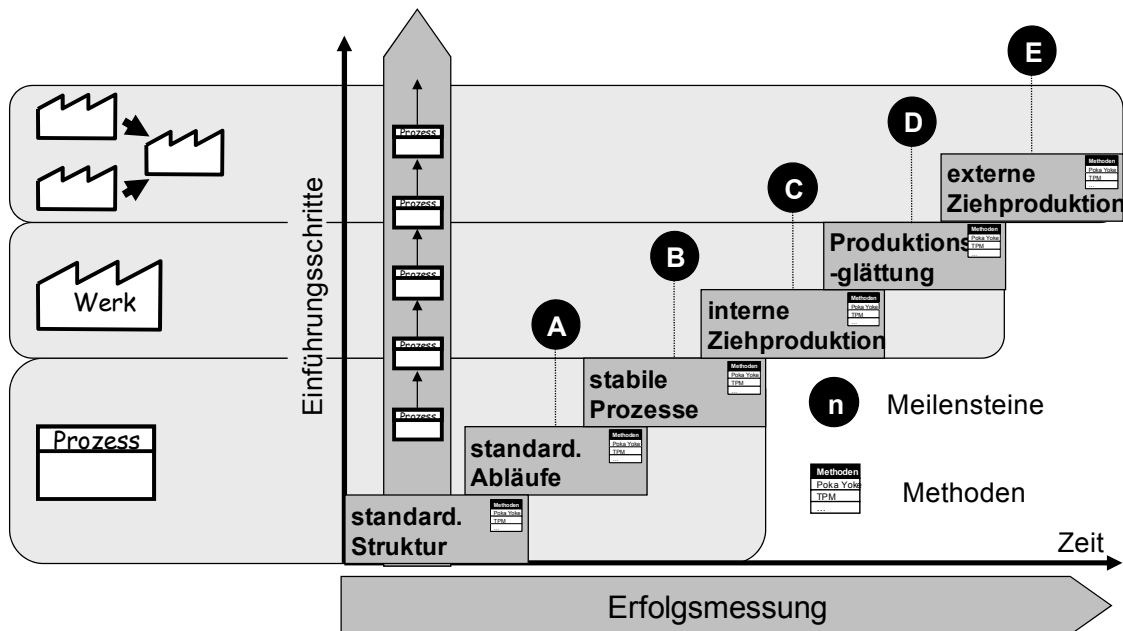


Abbildung 31: 6-phasier Einführungsplan von Lean Production ausgehend von einer standardisierten Struktur in Einzelprozessen im ersten Schritt bis zur Einführung von Lean-Production-Methoden innerhalb eines werksübergreifenden Fertigungsverbundes in der letzten Phase (nach Reinhart et al. 2003).

### 4.2.3 Weitere Ansätze

#### Hayes und Wheelwright - Produkt-Prozess-Matrix

Hayes und Wheelwright verknüpfen mit der Produkt-Prozess-Matrix die Struktur von Produktionssystemen mit der Komplexität der herzustellenden Produkte. Sie tragen mit ihrer Betrachtung zur Erhöhung des Verständnisses für Produktionssysteme auf abstrakter Ebene bei, liefern jedoch keine konkreten Beschreibungen zur Implementierung von Lean-Production-Methoden auf operativer Ebene (vgl. HAYES & WHEELWRIGHT 1979).

### **Spear und Bowen - Vier Regeln**

Nach Spear und Bowen basiert der Erfolg des TPS vor allem auf der stringenten Durchführung und Beibehaltung einer wissenschaftlichen Arbeitsweise. Die Methode ist dabei klassisch unterteilt in: „*Beobachtung, Hypothese, Versuch und Ergebnis*“ (SPEAR & BOWEN 1999).<sup>33</sup> Durch die konsequente Anwendung dieser Art der kontinuierlichen Problemidentifikation und -lösung wird das TPS sowohl ständig an neue Anforderungen angepasst als auch ständig verbessert. Um diesen Zustand der Arbeitsweise im Unternehmen zu implementieren, formulieren die Autoren vier Regeln:

*„Regel 1: Jede Arbeit wird exakt definiert bzgl. Inhalt, Ablauf, Takt und Ergebnis.*

*Regel 2: Jede Kunden-Lieferanten-Beziehung muss eng verknüpft sein und es muss eindeutige ja/nein-Regeln geben, nach denen Anfragen und Rückmeldungen ausgetauscht werden.*

*Regel 3: Der Weg jedes Produktes und jeder Leistung muss einfach und direkt sein.*

*Regel 4: Jede Verbesserung muss gemäß der wissenschaftlichen Methodik durchgeführt werden, unter der Leitung eines Vorarbeiters am möglichst nächsten Ort an der Wertschöpfung“ (SPEAR & BOWEN 1999).<sup>34</sup>*

Diese Regeln stellen keinen Einführungsplan im Sinne einer Abfolge dar, sondern bilden ein Regelwerk der kontinuierlichen Verbesserung und der strukturellen Gestaltung von Prozessen. Die Frage nach der Eignung der verschiedenen existierenden Lean-Production-Methoden für definierte Probleme gehen Spear und Bowen nicht nach. Ebenso fehlt in ihrem wissenschaftlichen Vorgehen vor der Formulierung der Lösung die Suche nach geeigneten bestehenden Lösungen.

---

<sup>33</sup> “observation, hypothesis, formulation, prediction of results and performance of experimental tests”

<sup>34</sup> “Better chance of replicating Toyota’s DNA: Rule 1: All work shall be highly specified as to content, sequence, timing, and outcome. Rule 2: Every customer supplier connection must be direct, and there must be an unambiguous yes-or-no way to send requests and receive responses. Rule 3: The pathway for every product and service must be simple and direct. Rule 4: Any improvement must be made in accordance with the scientific method, under the guidance of a teacher, at the lowest possible level in the organisation.”

Weiterhin existiert keine Verbindung zu den Unternehmenszielen und somit keine Beantwortung der Frage, wie ein Produktionssystem für ein bestimmtes individuelles Unternehmen sinnvoll zu gestalten ist. Bereits Shingo betonte aber, dass für ein funktionierendes System jedem Beteiligten der Systemzweck klar sein müsse (vgl. SHINGO 1989). Die vier Regeln stellen einen Bottom-up-Ansatz dar, der grundsätzliche Verhaltens- und Gestaltungsregeln definiert, jedoch zwischen Lean-Production-Methoden und übergeordneten Unternehmenszielen keine Verbindung schafft.

### Cochran et al. - Axiomatic Design

Für die Gestaltung eines Produktionssystems treffen COCHRAN et al. 2002 eine eindeutige Unterscheidung zwischen Maßnahmen und Zielen, indem sie die Methode „Axiomatic Design“ nach Suh für die Darstellung der Interdependenzen nutzen.

Dem axiomatischen Designansatz folgend definieren sie Ziele und Teilziele als „Functional Requirements“ (FR) und Maßnahmen, die der Erreichung dieser Ziele dienen sollen, als „Design Parameters“ (DP). Durch die Zuordnung der DPs zu den FRs wird für jedes Problem eine spezifische Lösung aufgezeigt, die auch Interdependenzen im System mit berücksichtigt.

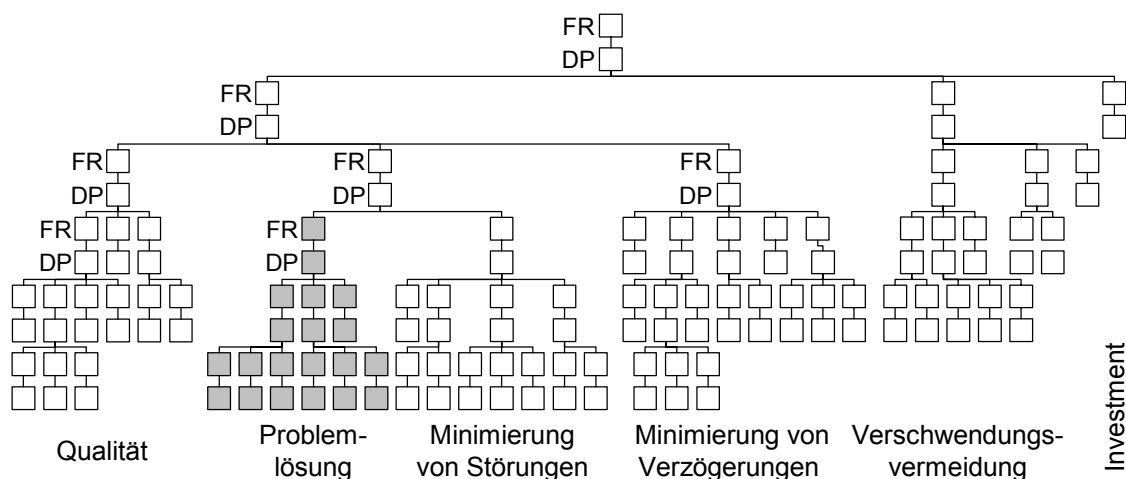


Abbildung 32: Zusammenhänge von Zielen und Maßnahmen im Toyota-Produktionssystem (nach COCHRAN et al. 2002)

Im Modell von Cochran et al. ergeben sich nach der Strukturierung auf der untersten Ebene die sechs Gestaltungsbereiche: Qualität, Problemlösung, Störungsminimierung, Minimierung von Verzögerungen, Verschwendungsvermeidung und Investment (vgl. Abbildung 32). Der Ansatz von Cochran et al. ist



ebenso wie der Ansatz Mondens hierarchisch strukturiert. Der Teil *Problemlösung des Systems* (in Abbildung 32 grau unterlegt) ist in Abbildung 33 beispielhaft aufgeführt.

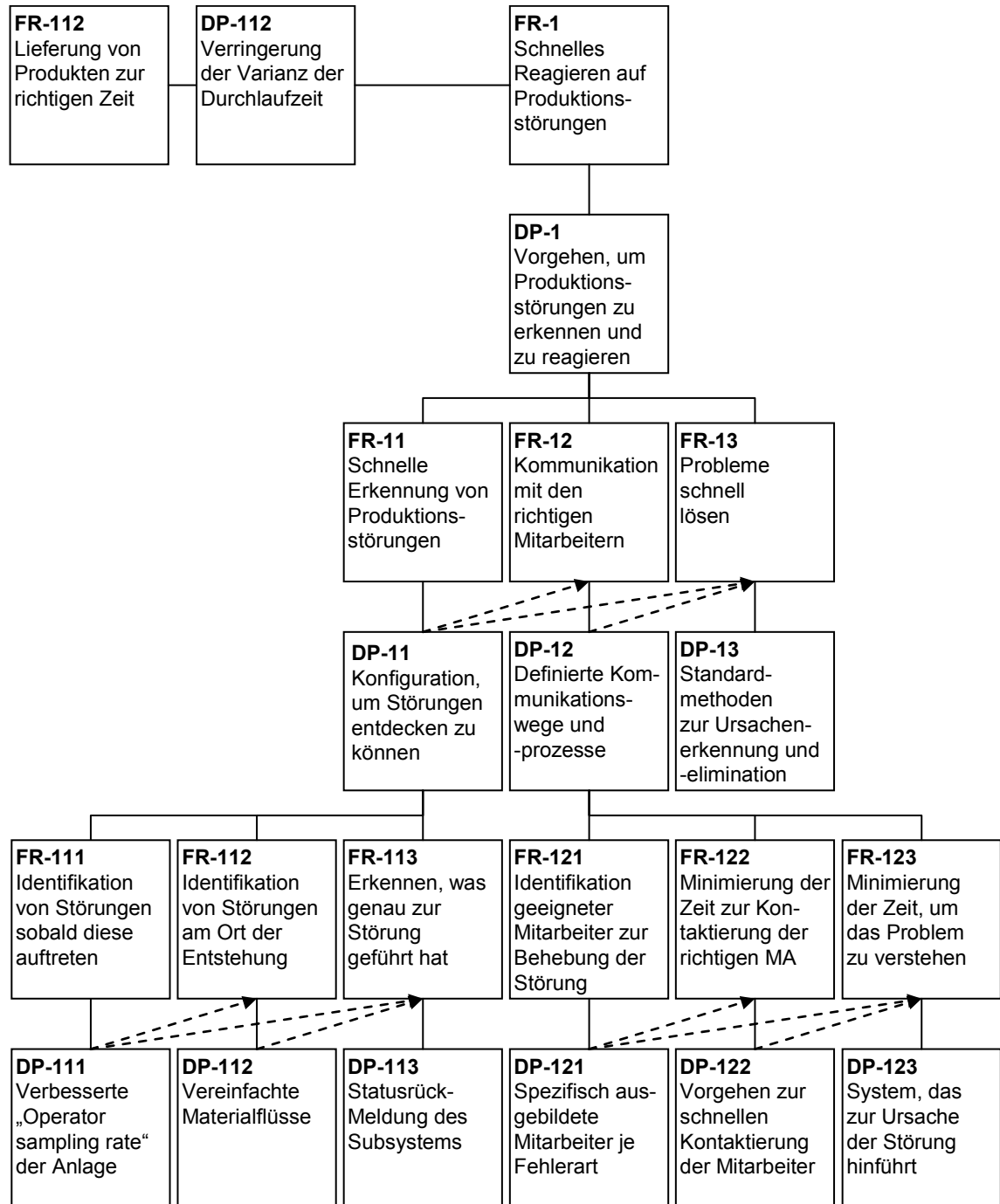


Abbildung 33: Zusammenhänge des Handlungsfeldes Problemlösung (in Abbildung 32 grau dargestellt nach COCHRAN et al. 2002)

Mit Hilfe der hierarchischen Struktur sind viele der Wirkverknüpfungen nicht darstellbar, da hierarchische Ansätze keine ebenen- und ästeübergreifenden Ver-

knüpfungen zulassen, obwohl beispielsweise die Verbindung zwischen DP-R11 „Konfiguration, um Unterbrechungen entdecken zu können (=Automation)“ und FR-P11 „Sicherstellung, dass alle relevanten Information verfügbar sind (=visuelles Management)“ eindeutig zu belegen ist (vgl. Abschnitt 5.2.12). Daher nehmen Cochran et al. verschiedene „Design Parameter“ mehrfach in die Modellierung auf, so z.B. „Standardisiertes Arbeiten“ DP-Q112, DP-P121, DP-P141, DP-R13. Dies führt jedoch zum Aufbrechen der Logik in der Abfolge der Implementierung und Systemgestaltung. Gleichwohl ist der Ansatz hilfreich, um die Ziele einer Implementierung zu definieren und davon ausgehend Lösungsansätze zu erarbeiten. Bei der Anwendung der Methode werden die einzelnen Ziele in Teilziele und Teillösungen gegliedert. Damit kann eine detaillierte Problemlösung kreativ und systematisch durchgeführt werden. Nicht geeignet ist die Methode für den systemischen Ansatz, da sie durch die hierarchische Ordnung keine Darstellungen von Rückkopplungen zulässt.

### **Gilgeous und Gilgeous**

Gilgeous und Gilgeous analysieren folgende acht Faktoren im Hinblick auf ihren Einfluss auf die vier Produktionskenngrößen Qualität, Kosten, Liefertreue und Flexibilität:

*„Innovation und Veränderung, Ermächtigung, lernende Organisation, Kundenorientierung und -verpflichtung, Qualitätsverpflichtung, erstklassige teamorientierte Unternehmensführung, Technologie- und Informationssysteme, Beziehungen zu den Lieferanten mit Gewinn für beide Seiten“ (GILGEOUS & GILGEOUS 1999).<sup>35</sup>*

Zur Realisierung der Faktoren formulieren Gilgeous & Gilgeous Vorschriften lassen jedoch konkrete Anweisungen vermissen. Interdependenzen zwischen den Vorschriften werden nicht näher betrachtet, so dass sich keine Vorgehensweisen zur Implementierung von Lean Production ableiten lassen.

### **Shah & Ward**

Shah und Ward haben sich in zwei Artikeln mit der Implementierung von Lean-Production-Methoden auseinandergesetzt. Im ersten Artikel von 2002 präsentieren sie eine statistische Untersuchung von 22 Lean-Production-Methoden, die sie

---

<sup>35</sup> „Innovation and change, empowerment, the learning organisation, customer focus and commitment, commitment to quality, first rate management team/belief in the organisation, technology and information system, win-win relationships with suppliers”

in vier verschiedene „Bündel“ einteilen, und deren Wirkung auf die Wertschöpfungsleistung. Die Bündel sind Just in Time (JiT), Total Quality Management (TQM), Total Productive Maintenance (TPM) und Human Resource Management (HRM) (vgl. SHAH & WARD 2003). Wesentliches Ergebnis der statistischen Untersuchung im Hinblick auf den Einfluss von Lean-Production-Methoden auf die Wertschöpfungsleistung („Operational Performance“) ist, dass die Einführung einzelner Methoden einen deutlich geringeren wirksamen Einfluss auf die Wertschöpfungsleistung hat als die Einführung als ein System bzw. als inhaltlich ausgerichtete Subsysteme, sogenannte Bündel. Als Kennzahlen für die Messung der Wertschöpfungsleistung untersuchten Shah und Ward Nacharbeitkosten, Taktzeit, Durchlaufzeit, Prozessqualität (first pass yield), Produktivität und Herstellungskosten (SHAH & WARD 2003).

In einer weiteren statistischen Untersuchung definieren Shah und Ward Lean Production angelehnt an das SCOR-Modell (*Supply-Chain-Operations-Reference-Modell*)<sup>36</sup>. Sie entwerfen ein umfragegestütztes Modell zur Messung des Implementierungserfolgs von Lean Production für Unternehmen in Nordamerika. Basierend auf 48 ausgewählten Lean-Production-Aktivitäten und deren Interdependenzen kommen sie so zu Abhängigkeitsaussagen, die die Grundlage eines Systems darstellen und die im Laufe der Untersuchung der vorliegenden Arbeit genutzt werden (SHAH & WARD 2007).

### **Peter**

Auch Peter setzt sich mit der Frage auseinander, welche Lean-Methoden für welche Zielerreichung die geeigneten sind. Die Untersuchung beschränkt sich dabei auf die folgenden fünf Methoden: Kanban und ConWIP, Produktionsnivellierung, SMED, Total Quality Management und Total Productive Maintenance. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Beschreibung der Auswirkung einer Methodeinführung auf betriebliche Kennzahlen. Diese Zusammenhänge werden als Regelkreise angesehen, in denen die einzuführende Methode die Stellgröße beeinflusst, die auf die Produktion als Regelstrecke wirkt (vgl. Abbildung 34).

Hierzu definiert Peter ein Wirkgefüge zwischen Systemgrößen einer Produktion und den Einfluss der genannten Lean-Production-Methoden auf diese Kennzahlen durch die von den Methoden angesprochenen Stellgrößen. Mittels dieser Verknüpfung lassen sich Wirkketten für die Methoden beschreiben und so-

---

<sup>36</sup> Das SCOR-Modell ist ein Prozess-Referenz-Modell, das als industrieübergreifender Standard die gesamten Geschäftsaktivitäten eines Unternehmens bis zur Erfüllung des Kundenwunsches beschreibt.

nannte Wirkindices als Kombination der Wirkketten definieren. Diese Zusammenhänge von Methoden und Kennzahlen werden im nächsten Schritt mit einem durch Wertstromdesign analysierten Produktionsbereich in einer Ablaufsimulation verknüpft. In mehreren Simulationsläufen (Sensitivitätsanalyse) werden dann die Einflüsse unterschiedlicher Methodenimplementierungen auf die zuvor definierten Zielgrößen und spezifische Wirkzusammenhänge ermittelt. Auf Basis der Simulationsergebnisse ergeben sich Alternativen zur Einführung, die sich hinsichtlich ihrer Beeinflussung der Zielgrößen unterscheiden (PETER 2009).

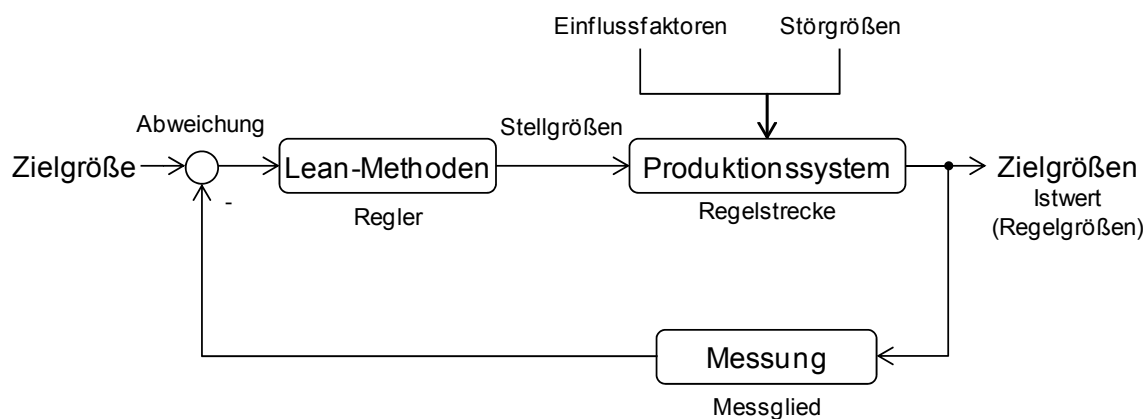


Abbildung 34: Regelkreis zum Einsatz von Lean-Production-Methoden (nach PETER 2009, S. 49)

Der Ansatz von Peter hat seine Stärke in der ausführlichen Betrachtung der Wirkzusammenhänge von Lean-Production-Methoden und betrieblichen Kennzahlen. Hinsichtlich dieser Darstellung ergeben sich klare Aussagen zur Frage der Wirkung einer Methodeneinführung. Er ist durch die Reduktion auf fünf Methoden jedoch nicht als holistische Produktionssystemeinführung angelegt. Wesentliche Methoden wie 5S, Shojinka oder Einzelstückfluss bleiben unberücksichtigt. Auch die Wirkzusammenhänge zwischen einzelnen Methoden werden nicht betrachtet. Damit können auch die dynamischen Effekte der Wirkbeziehung zwischen den Methoden nicht beachtet.

### 4.3 Zwischenfazit

Abbildung 35 zeigt einen Überblick bestehender Veröffentlichungen zur Erklärung von Lean-Production als System und zu Implementierungsansätzen.

Es fehlt an einem ganzheitlichen Ansatz auf Basis einer systemischen Struktur, anhand dessen jedes Element (Methoden und Ziele) mit jedem anderen verknüpft

werden kann. Die erfolgreiche Generierung eines Implementierungsplans für Lean Production setzt die Kenntnis der Interdependenzen im System sowie ihres Einflusses auf die Kennzahlen eines Unternehmens voraus. Es existiert keine Literatur, die sich zum Thema der spezifischen Konfiguration eines Lean-Production-Systems vor dem Hintergrund eines definierten individuellen Unternehmensprofils äußert und dabei auch die Wirkbeziehungen zwischen den einzelnen Elementen berücksichtigt. Ebenso fehlt es an Literatur zur Gestaltung eines Lean-Production-Systems in Verbindung mit einem entsprechenden Implementierungsplan, um bestimmte Zielkonfigurationen zu erreichen.

	Systemische und dynamische Kriterien	Holistische Betrachtung (keine einzelnen Methoden)	Wirkzusammenhänge zwischen Methoden	Wirkzusammenhänge von Methoden und Kennzahlen	Berücksichtigung dynamischer Effekte (Rückkopplungen)	Implementierung von Lean Production	Individuelle Ausgangssituation	Individueller Implementierungsplan	Kennzahlenbasierte Implementierung
<b>Implementierungsansätze</b>									
Ohno 1993		●	●	◐	●		○	○	○
Shingo 1989		●	●	◐	●		○	○	○
Monden 1998		●	●	◐	○		○	○	◐
Takeda & Meynert 2004		●	◐	◐	○		○	○	●
Oeltnjenbruns 2000		◐	◐	◐	◐		○	○	◐
<b>Phasenmodelle</b>									
Womack & Jones 2000		○	◐	◐	○		○	○	●
Liker 1997		○	◐	◐	○		◐	◐	●
Rich et al. 2006		◐	◐	●	◐		●	○	●
Drew et al. 2005		○	○	○	○		◐	○	◐
Groesbeck - Rivera & Chen 2007		○	◐	●	○		○	○	●
Reinhart et al. 2003		○	◐	●	○		○	○	●
<b>weitere Ansätze</b>									
Hayes & Wheelwright 1979		●	◐	○	◐		○	○	○
Spear & Bowen 1999		○	○	○	○		○	○	○
Cochran et al. 2002		●	◐	◐	○		●	●	●
Gilgeous & Gilgeous 1999		○	○	○	○		○	○	●
Shah & Ward 2003		●	●	●	○		○	○	●
Peter 2009		◐	○	●	○		●	●	●

Abbildung 35: Überblick zur Kriterienerfüllung bestehender Ansätze

Insgesamt fehlt es an einer wissenschaftlichen Untersuchung für ein Implementierungsvorgehen für das TPS, mit dem ausgehend von definierten Unternehmenszielen geeignete Lean-Production-Methoden und deren Einführungsreihen-

#### **4 Stand der Erkenntnisse**

---

folge auf Basis ihrer Interdependenzen beurteilt werden können. Die bestehenden Ansätze können für die Gestaltung und Entwicklung einer solchen Methode oder einer Umsetzung einer Methode in ein Werkzeug genutzt werden.

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

### 5.1 Zielsystem

#### 5.1.1 Allgemeine Einführung

Zur strukturellen Ausrichtung eines Simulationsmodells wird ein Zielsystem benötigt. Das Zielsystem eines Modells als digitales Abbild realer Zusammenhänge ist im Sinne der vorliegenden Arbeit an dem Zielsystem einer effizienten Produktion ausgerichtet.

Die Güte einer Produktion misst sich anhand der Zieldimensionen Qualität, Zeit und Kosten. Die Verbesserung einer Kennzahl, die eine dieser Zieldimensionen beschreibt, führt häufig zur Verschlechterung der Kennzahl einer anderen Zieldimension. Damit stehen diese Kennzahlen in Konkurrenz zueinander. Dies wird auch als das Dilemma in der Produktionsablaufplanung bezeichnet (GUTENBERG 1951). Daher werden sich jeweils die Gewichtungen zwischen den drei Zieldimensionen verschieben, abhängig von den Betrachtungszeiträumen sowie den jeweiligen Vorgaben für Verbesserungen. Bereits für Henry Ford waren Zeit und Kosten klare Zieldimensionen bei der Gestaltung seiner Produktion. Die Arbeit sollte schneller zu erledigen sein, um mehr Autos pro Tag herstellen zu können. Bei gleicher Anzahl an Mitarbeitern konnte das Auto billiger als die Produkte der Konkurrenz angeboten werden. Dieser Produktivitätsschub ermöglichte es Ford, ein Ford-Modell T für nur noch 300 US-Dollar anzubieten, während hierfür vor der Einführung des Fließbandes noch 850 US-Dollar zu bezahlen waren (LACEY & FORD 1987). Der Erfolg von Ford war auch der Anlass für Kiichiro Toyoda, in den 1950er Jahren in die USA zu reisen, um die dortigen effizienten Produktionsweisen zu erlernen, auf die eigenen Fabriken zu adaptieren und so kostengünstiger zu fertigen, die Geburtsstunde des TPS. In der Literatur finden sich weitere Ziele des TPS auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen. So spricht Ohno beispielsweise vom Hauptziel des TPS, die Fertigung vieler Modelle in kleinen Stückzahlen zu ermöglichen (OHNO 1993, S. 28). Shingo beschreibt als höchstes Ziel: „*nur das zu produzieren, was vom Markt kurzfristig wirklich benötigt wird*“ (SHINGO 1993, S. 85). Letztendlich sind beide Aussagen als Unterziele auf dem Weg zu einer effizienten Produktion anzusehen.

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

---

Genau dies ist kennzeichnend für den Charakter eines Produktionssystems, das von einer klaren Zielformulierung mehrere Unterziele ableitet, die durch verschiedene Methoden zu erfüllen sind. Beispielsweise war eines von Ohnos Zielen mehr Flexibilität in der Produktion. Ohno analysierte, was das Problem auf dem Weg zu mehr Flexibilität war. Er entschied sich, die variantenreiche Produktion über kleine Losgrößen zu realisieren. Diese waren damit kein Selbstzweck, sondern ermöglichten eine höhere Flexibilität der Produktion. Mit der gewonnenen Flexibilität konnten dann Bestände kleiner gehalten werden, was sich in sinkenden Kosten ausdrückte. Weiterhin konnten Kunden zeitiger bedient werden, was sich in der Zieldimension *Zeit* positiv widerspiegelte.

Die Frage, inwieweit Lean-Production-Methoden Kennzahlen beeinflussen, ist wissenschaftlich schwer zu belegen, da das bei Unternehmen vorhandene Zahlenmaterial bezüglich einer Lean-Production-Implementierung vielfach nicht aussagekräftig ist. Dies liegt daran, dass Unternehmen, die mit der Einführung von Lean Production beschäftigt sind, keine klaren Ergebnisse ihrer Maßnahmen dokumentieren, sondern diese erst im Nachgang zu oder im Verlauf einer Implementierung ermitteln. Häufig sind die Effekte einer Lean-Production-Implementierung und weiterer Projekte im Unternehmen nur schwer voneinander zu trennen. Noch schwieriger wird dies, wenn nicht nur eine Methode eingeführt wird, sondern ein Bündel an Methoden. In einer Unternehmensstudie von Lanza et al. wird dazu bemerkt:

*„Bezogen auf die einzelnen Methoden kann lediglich der Umsetzungsgrad, nicht der Umsetzungserfolg gemessen werden“ (LANZA ET AL. 2008).*

Bei der Beschreibung der Auswirkungen von Lean-Production-Methoden auf Unternehmenskennzahlen weisen Li et al. nach, dass die Einführung von Lean-Production-Methoden Effekte auf die Kennzahlen des SCOR-Modells hat (LI et al. 2005). Shah und Ward identifizieren anhand des SCOR-Modells zehn Konstrukte, mit denen sich der Erfolg einer Lean-Production-Implementierung in einer Kennzahlveränderung nachweisen lässt. Der wichtigste Beitrag ihrer Untersuchung ist der Beleg, dass Lean-Production-Methoden im Rahmen eines größeren Gefüges zusammenhängen und Lean Production damit als System zu begreifen und zu implementieren ist (SHAH & WARD 2003).

Neben der Bestätigung des systemischen Charakters von Lean Production ist die Beschäftigung mit Kennzahlen in diesem Zusammenhang ein weiteres Mal hilfreich. So ist nicht nur die Frage von Bedeutung, welche Methoden einen Einfluss auf welche Kennzahlen oder Zielgrößen besitzen, sondern es ist genauso wichtig,



die Abhängigkeit der Zielgrößen untereinander zu bestimmen. Diesen Zusammenhängen gingen Ferdows und de Meyer mit einer statistischen Untersuchung nach (FERDOWS & DE MEYER 1990).

Dazu konzentrierten sie sich auf die vier Zieldimensionen Qualität, Stabilität, Zeit und Kosten, die ein übergeordnetes Zielsystem darstellen. Ihr Ergebnis erläutern sie mithilfe des Sandhügelmodells (Sand-Cone-Model) (vgl. Abbildung 36). Der Sandhügel besteht aus vier Schichten, die jeweils für die Zieldimensionen Qualität, Stabilität, Zeit und Kosten stehen. Im Sinne des Modells kann eine höhere Schicht nur aufgefüllt werden, wenn die untere Schicht als Basis genügend groß ist. D.h., dass bei der Fokussierung auf Kosten sowohl eine Basis an Qualität, Stabilität und Zeit vorhanden sein muss als auch bei der Nutzung kostenwirksamer Methoden entsprechend Aktivitäten in den weiteren drei Zieldimensionen durchgeführt werden müssen, um eine ausreichende Grundlage für eine Kostenreduktion zu schaffen.

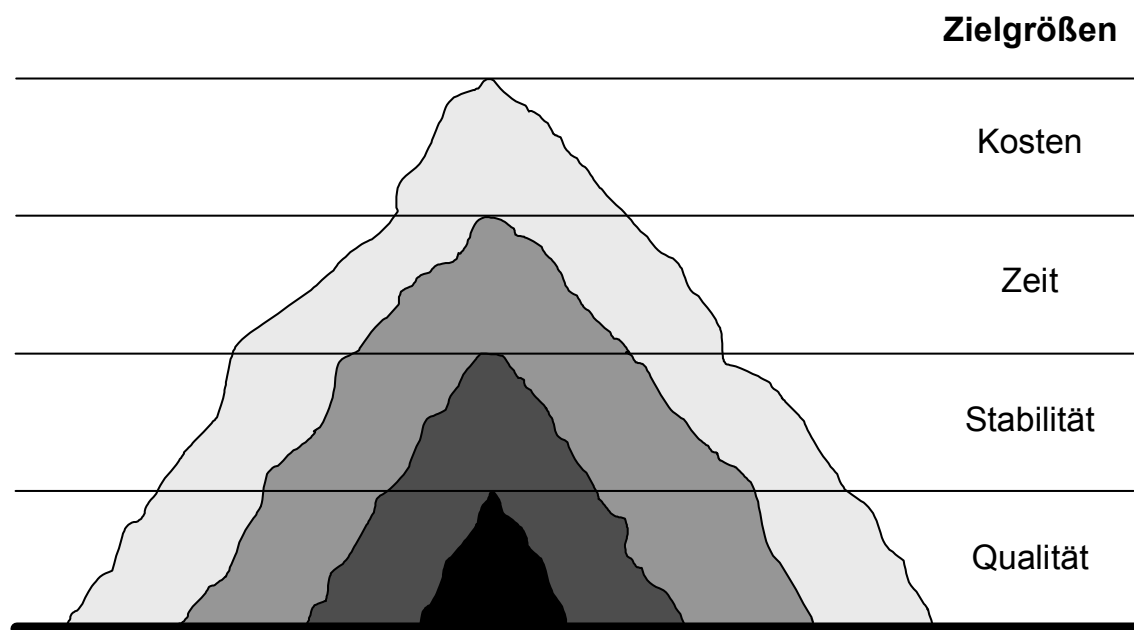


Abbildung 36: „Sandhügelmodell“ zur Erklärung der Zusammenhänge von Qualität, Stabilität, Zeit und Kosten bei der Einführung von Lean Production (nach FERDOWS & DE MEYER 1990).

In ihrer Untersuchung wiesen sie nach, dass die größten Erfolge in allen Zieldimensionen erreicht wurden, wenn die Unternehmen erstens Methoden in der Reihenfolge Qualität, Stabilität, Zeit und Kostenwirksamkeit einführten und zweitens ihre Bemühungen bzgl. bereits eingeführter Methoden nicht nachließen. So werden automatisch Kosten reduziert, wenn qualitätsrelevante Methoden ge-

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

nutzt werden. Ebenso ist die Reduktion von Kosten größer, wenn vorher intensiv nach Verbesserungen der Zielgröße Zeit gesucht wird.

Vordergründig scheint diese Untersuchung nicht schlüssig, wie folgendes Beispiel zeigt, in dem die drei Zieldimensionen entgegen gerichtet zueinander stehen. So ist eine hohe Qualität z.B. durch intensive Kontrollen und Aussortieren qualitativ unzureichender Produkte zu erreichen, was jedoch Verschlechterungen hinsichtlich Zeit und Kosten bedeutet. Umgekehrt bedeutet ein Zurückfahren von Qualitätsmaßnahmen aus Kostengründen gemeinhin eine schlechtere Qualität. Es gilt also die für ein jeweiliges Unternehmen entsprechende Priorisierung der drei Ziele zu finden. Mit ihrer Untersuchung haben Ferdows und de Meyer aufgezeigt, dass durch den systemischen Charakter von Lean Production dieser scheinbare Gegensatz zwischen den Zieldimensionen Zeit, Kosten und Qualität aufgehoben werden kann.

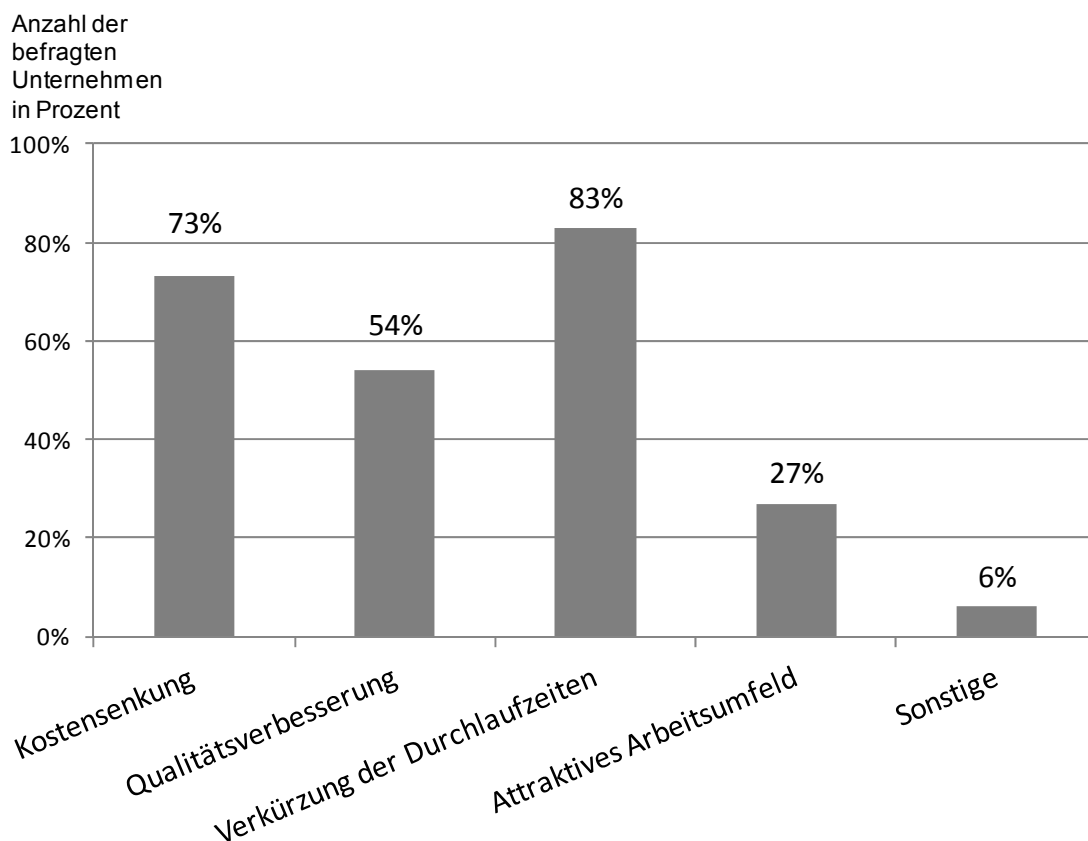


Abbildung 37: Das Ergebnis einer Unternehmenskurzstudie zeigt, dass mit großem Abstand die drei Zieldimensionen Zeit, Kosten und Qualität die wichtigsten Ziele von Unternehmen für die Einführung von Lean-Production-Methoden sind (LANZA ET AL. 2011).

Auch eine Unternehmensstudie von Lanza et al. führt zu dem Ergebnis, dass die drei Zieldimensionen Zeit, Kosten und Qualität die angestrebten Ziele im Rahmen einer Lean-Production-Implementierung sind (vgl. Abbildung 37). Schonberger erkannte dies bereits 1982 und fasste es folgendermaßen zusammen:

*„Der am häufigsten genannte Nutzen bei der Implementierung von Lean Production ist eine Steigerung in Arbeitsproduktivität und Arbeitsqualität bei gleichzeitiger Reduktion von Durchlaufzeiten, Taktzeiten und Herstellungskosten“ (SCHONBERGER 1982; WHITE et al. 1999, S. 3).<sup>37</sup>*

Als Zielgrößen werden daher auch in der vorliegenden Arbeit die drei wesentlichen Kriterien für Produktionsunternehmen verwendet: Zeit, Kosten und Qualität. In den folgenden Abschnitten werden diese hinsichtlich ihrer Bedeutung für Lean Production näher beschrieben.

### **5.1.2 Zielgröße Zeit**

Die *Durchlaufzeit* ist definiert als die *„Zeitspanne, die bei der Produktion eines Gutes zwischen dem Beginn des ersten Arbeitsvorganges und dem Abschluss des letzten Arbeitsvorganges verstreicht“* (HADELER & SELLIEN 2000, S. 788). Sie setzt sich aus Bearbeitungs-, Transport- und Wartezeiten zusammen.

Eine Überzeugung bei Toyota ist die ausschließliche Fertigung auf Basis realer Kundenaufträge. Mit kürzeren Durchlaufzeiten wird demnach der Markt schneller bedient und die Kundenwünsche werden schneller erfüllt. In der heutigen Zeit von Globalisierung, Vereinheitlichung und beliebiger Verfügbarkeit von Waren gewinnt der Faktor Zeit für die Kundenzufriedenheit immer mehr an Bedeutung. Die Anforderung der Kunden an die Hersteller ist damit die schnelle Lieferung der gewünschten Produkte zu jeder Zeit. Kurze Durchlaufzeiten lassen sich aber nicht nur gut vermarkten, sondern reduzieren zusätzlich die eigenen Kosten, da für die Erreichung dieses Ziels sämtliche unnötigen Prozesse und Bestände eliminiert werden müssen (TAKEDA 2004, S. 70).

Nach der Einschätzung von Takeda ist davon auszugehen, dass bei nachhaltiger Implementierung von Lean Production *„in nahezu allen Werken ohne weiteres*

---

<sup>37</sup> The most commonly cited benefits related to lean practices are improvement in labour productivity and quality, along with reduction in customer lead time, cycle time, and manufacturing costs.

*eine Reduzierung der Durchlaufzeit auf ein Zehntel innerhalb eines Zeitraumes von eineinhalb bis zwei Jahren möglich ist“ (TAKEDA 2004, S. 11).*

Im Folgenden wird für diese Zielgröße der Begriff Zeit verwendet, da eine Reduktion von Zeiten im Gesamtprozess immer positiv ist, sich jedoch nicht zwingend auch immer auf die Durchlaufzeit auswirkt.

### 5.1.3 Zielgröße Kosten

Im Toyota-Produktionssystem wird alles, was dem Produkt keinen Wert hinzufügt, als Verschwendung (jap. Muda) betrachtet (OHNO 1993, S. 83). Nur die Veränderung am Produkt, für die der Kunde bereit ist zu zahlen, fügt dem Produkt einen Wert hinzu. Alles andere ist Verschwendung und deshalb zu vermeiden (OHNO 1993, S. 44 ff., SHINGO 1993, S. 259).

Die Suche nach Verschwendung ist die Hauptantriebsfeder im TPS (vgl. Abschnitt 3.1.4) und bestimmt die tägliche Arbeit in jeder Hierarchieebene. Das folgende Zitat von Ohno unterstreicht dies deutlich.

*„Man sagt über das Toyota-Produktionssystem, dass es so kraftvoll sei, noch aus einem trockenen Handtuch Wasser herauspressen zu können. Das ist tatsächlich eine zutreffende Beschreibung. Wenn man beispielsweise Pulver trocknen will, genügt es keineswegs, nur die Feuchtigkeit von der Oberfläche zu entfernen; man muss ebenfalls die unsichtbare Feuchtigkeit beseitigen, die sich im Inneren kristallisiert hat. Genau nach diesem Prinzip sucht man bei Toyota Verschwendungen, von denen gewöhnlich niemand mehr Notiz nimmt, weil sie bereits als natürlicher Bestandteil der täglichen Arbeit akzeptiert worden sind. So kann etwa die Bewegung der Maschinenführer sowohl als Operation als auch als Verschwendung aufgefasst werden. Verschwendung ist jede Aktivität, die nicht dem Arbeitsfortschritt dient, wie etwa Wartezeiten, das Ansammeln von halbfertigen Teilen oder deren Nachfüllen in Behälter, das Übergeben von Material von einer Hand in die andere usw.“ (OHNO 1993, S. 44 f.).*

Die Vermeidung von Verschwendung ist also kein Selbstzweck, sondern sie dient ausschließlich der Reduktion von Kosten.

### 5.1.4 Zielgröße Qualität

Neben Zeit und Kosten ist *Qualität* die dritte wichtige Unternehmenszielgröße und dies in zweierlei Hinsicht. Zum Einen ist Qualität eines der wesentlichen Kriterien für Kundenzufriedenheit. Zum Anderen bedeutet gute Qualität jedoch auch Kosten- und Zeiteinsparung gegenüber schlechter Qualität, da Nacharbeit vermieden wird und bspw. keine teuren Rückrufaktionen anfallen. Die beiden wichtigsten Erkenntnisse im Toyota-Produktionssystem bezüglich der Qualität sind das Denken in Prozessen und das Verständnis von Qualitätsentstehung bereits im Bearbeitungsprozess. Insbesondere das Denken im Kunden-Lieferanten-Verhältnis innerhalb der Prozesskette unterstützt die Produktqualität. Der nächste Prozesseigner wird dabei als Kunde des eigenen Prozesses erkannt. Ebenso hilfreich ist die Strategie, Qualität zu produzieren und nicht zu prüfen. Diese beiden Erkenntnisse zusammen führen zu der herausragenden Qualität von Produkten, die im Sinne des TPS produziert werden.

Qualität ist jedoch von den Menschen abhängig, die im Produktionsprozess gestaltend eingreifen. Sie bestimmen durch ihre Arbeit die Qualität des Endproduktes. Nur wenn die Mitarbeiter eines Unternehmens kontinuierlich hohe Leistungen vollbringen, können auch kontinuierlich Produkte hoher Qualität eine Fabrik verlassen.

Voraussetzung für eine hohe Mitarbeiterleistung ist eine hohe Mitarbeiterzufriedenheit. Diese wiederum wird maßgeblich beeinflusst über die Behandlung der Mitarbeiter im Unternehmen. Daher fokussierte sich Toyota auch darauf, die Moral der Mitarbeiter zu verbessern (MONDEN 1998, S. XVI, S. 177). So werden neben der Beseitigung von verschwenderischen Operationen den Mitarbeitern wertvolle Arbeiten zugeteilt, um neben der Produktivität auch die Stimmung in der Belegschaft zu steigern (MONDEN 1998, S. 364). Basis dieser Fokussierung auf die Mitarbeitermotivation ist die Erkenntnis, dass sich eine hohe Qualität nur über eine gute Arbeitsmoral der Mitarbeiter realisieren lässt.

Rich et al. beschreiben den Zusammenhang zwischen Lean-Production-Methoden und Qualität anhand der Anwendung der Methoden über der Zeit und der Entwicklung der Kennzahl *Fehler pro eine Million Teile* (parts per million (ppm), vgl. Abbildung 38).

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

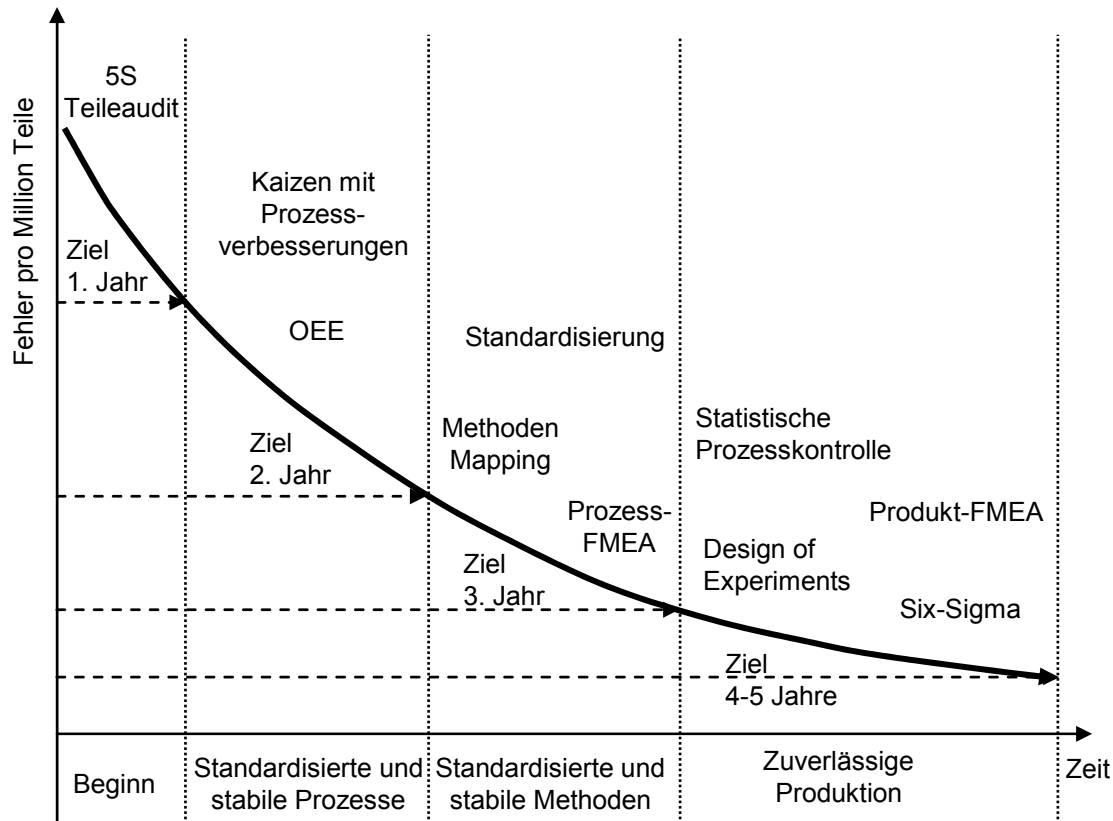


Abbildung 38: Wirkung von Lean-Production-Methoden und Qualitätsmethoden auf die Qualitätskennzahl ppm über den Einführungszeitraum von Lean Production (nach RICH et al. 2006, S. 120)

## 5.2 Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden

### 5.2.1 Einführung

In diesem Abschnitt werden die Interdependenzen der im Rahmen der Arbeit ausgewählten 18 Lean-Production-Methoden beschrieben. Die genannten Zusammenhänge sind das Ergebnis einer umfangreichen Literaturanalyse zu Lean-Production-Methoden. Zur besseren Strukturierung sind die Lean-Production-Methoden in drei Kategorien eingeteilt:

- logistikorientierte Methoden,
- mitarbeiterorientierte Methoden und
- qualitätsorientierte Methoden.

In den folgenden Übersichten bilden die logistikorientierten Methoden die linke Seite des Vierecks, die mitarbeiterorientierten Methoden die untere Seite und die qualitätsorientierten Methoden die rechte Seite des Vierecks. Die obere Seite wird durch die drei Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität dargestellt (s. Abbildung 39).

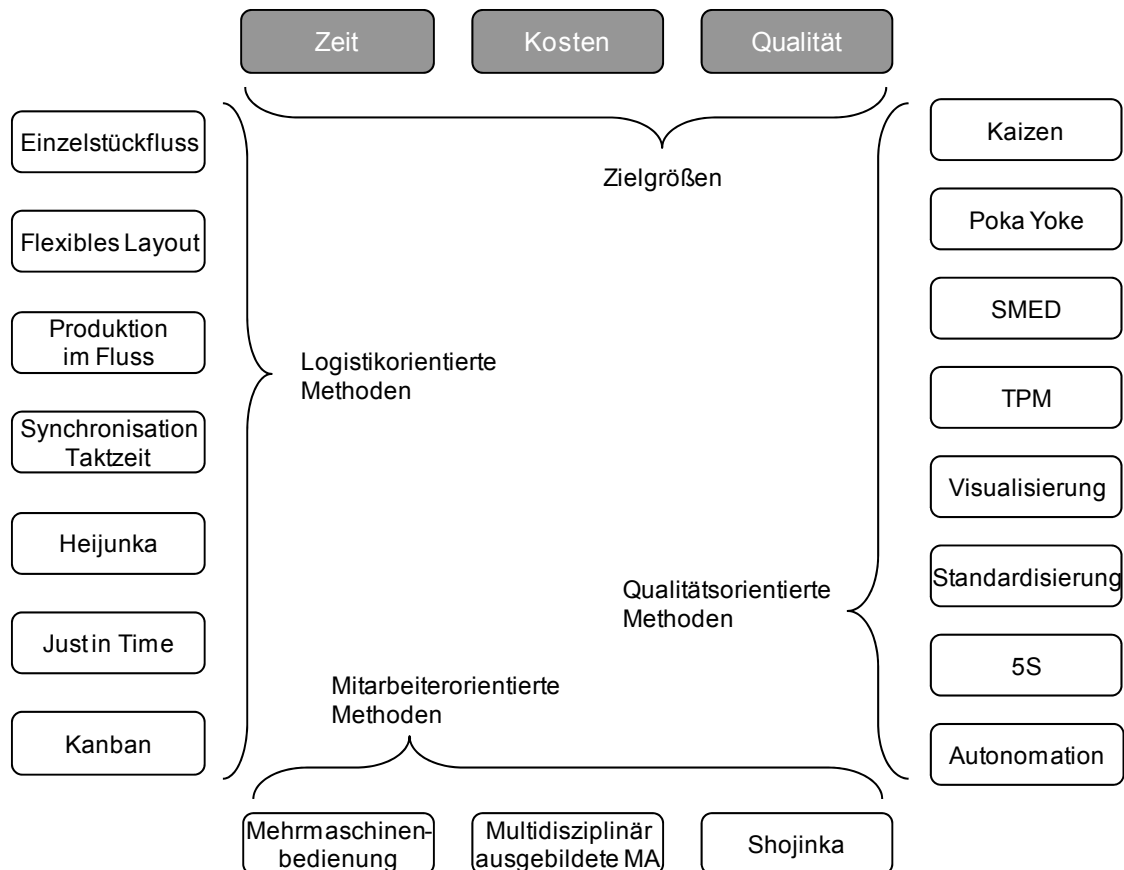


Abbildung 39: Bezeichnung der Elemente des Vierecks zur Darstellung der Einflüsse der Methoden auf die Zielgrößen

Im Folgenden wird jede Methode mit ihren Interdependenzen zu anderen Methoden einzeln erläutert. Im Viereck ist die jeweils betrachtete Methode in der Mitte platziert und Pfeile von den anderen Methoden auf diese Methode bezeichnen den jeweiligen Einfluss bzw. die Unterstützung. Der Einfluss oder die Unterstützung ist im Text beschrieben. Mit Unterstützung ist gemeint, dass eine Methode besser, schneller oder effektiver eingeführt werden kann, wenn zuvor eine unterstützende Methode eingeführt worden ist. Die Pfeile von der in der Mitte stehenden Methode zu den Zielgrößen bezeichnen den Einfluss auf die Zielgrößen.

### 5.2.2 Interdependenzen der Methode „Einzelstückfluss“

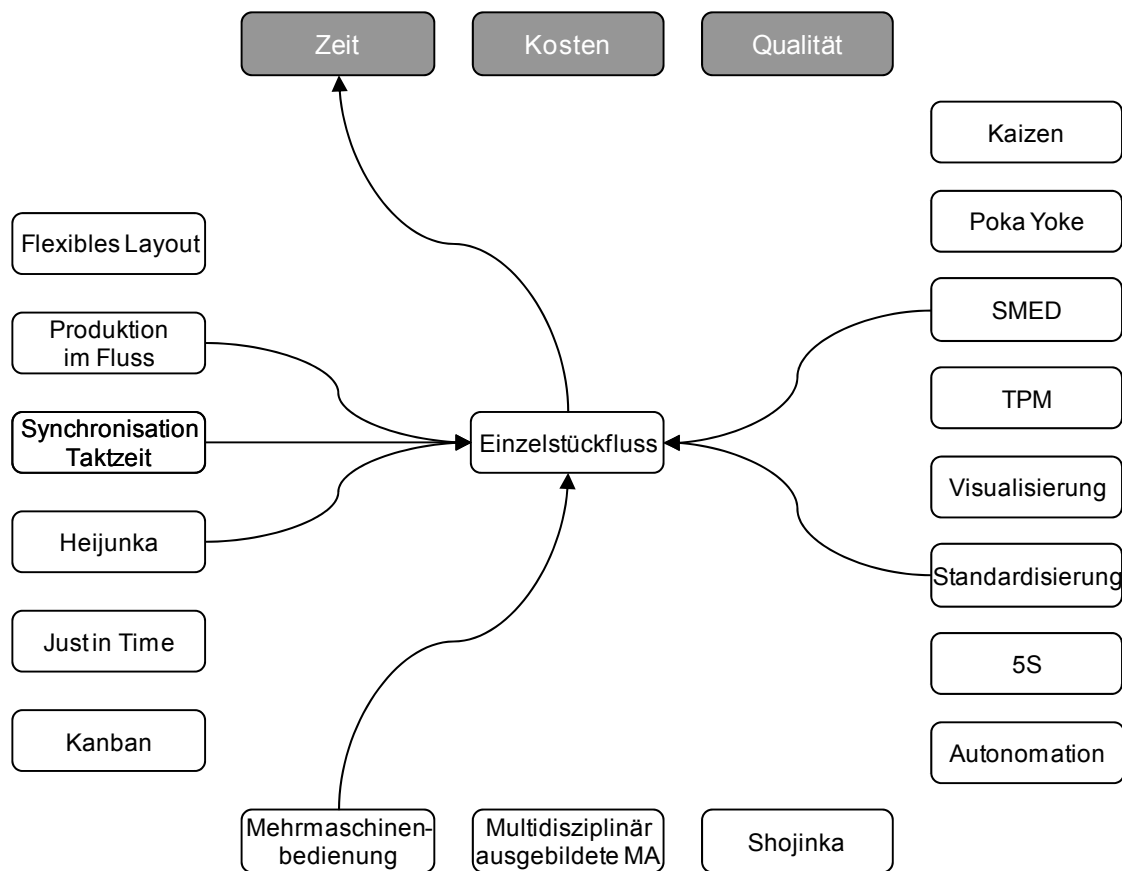


Abbildung 40: Interdependenzen der Methode „Einzelstückfluss“

#### Verbindung zu „Produktion im Fluss“

Im Einzelstückfluss werden die Teile einzeln oder in kleinen Losen von maximal vier bis sechs Teilen bearbeitet und sofort danach zum nächsten Prozess weitergegeben. In Verbindung mit einer Werkstattfertigung würde mit diesem Logistikmodus ein enormes Transportaufkommen erzeugt werden. Ein am Fertigungsfluss orientiertes Fabriklayout ist für Shingo notwendig, um diesen Transportbedarf in einem angemessenen Rahmen zu halten (SHINGO 1989, S. 102). Die Arbeitsprozesse werden ihrer Bearbeitungsreihenfolge entsprechend nacheinander angeordnet. Damit werden alte Fertigungsstrukturen wie Werkstattfertigung oder Inselfertigung aufgebrochen, die traditionell mit einer Losgrößenproduktion in größeren Losen einhergehen. Ebenso werden sowohl die Laufwege von Mitarbeitern als auch die zurückgelegten Wege der Produkte reduziert. Damit ermöglicht Produktion im Fluss die wirtschaftliche Realisierung des Einzelstückflusses (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 56).



### **Verbindung zu „Synchronisation“, „Heijunka“ und „Standardisierung“**

Zwei Methoden sind für Shingo die Eckpfeiler für die Methode Einzelstückfluss: die Methode Heijunka, also der Ausgleich volatiler Kundenaufträge durch eine geglättete Einlastung in die Produktion, und die zeitliche Synchronisation der betroffenen Fertigungsprozesse. Im Zusammenspiel dieser zwei Methoden werden Prozessverzögerungen eliminiert und der Einzelstückfluss unterstützt (SHINGO 1989, S. 101). Wenn Prozesse und Teilprozesse immer gleich ablaufen und zyklisch getaktet sind, wird der gesamte Arbeitsprozess transparenter und zuverlässiger. Für die Realisierung eines Einzelstückflusses sind daher die beiden Methoden Standardisierung und Synchronisation eine geeignete Unterstützung. (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 249).

### **Verbindung zu „Mehrmaschinenbedienung“**

Eines der Bilder, die nach einem Besuch in einer Fabrik von Toyota im Gedächtnis bleiben, sind die sogenannten Chaku-Chaku-Linien. Chaku bedeutet im japanischen so viel wie „laden“ und umschreibt damit treffend die Struktur einer solchen Linie. Die Mitarbeiter sind ausschließlich damit beschäftigt, die Maschinen und Anlagen am Laufen zu halten. Diese sind im Fluss aufgestellt und arbeiten mit der Losgröße eins. Der Mitarbeiter geht von Maschine zu Maschine, entnimmt bearbeitete Bauteile und legt neue ein. Dabei überprüft er an definierten Stellen die Qualität der produzierten Bauteile und achtet bei den Maschinen auf Auffälligkeiten und Anomalitäten. Er soll so frühzeitig Abweichungen erkennen und damit Fehler vermeiden. Diese Aufgabe erfordert Mitarbeiter, die mehrere Maschinen unterschiedlicher Fertigungsverfahren verstehen und bedienen können. Die Methode der Mehrmaschinenbedienung ermöglicht daher die Produktion im Einzelstückfluss. Die Folge ist eine wirtschaftliche Fertigung im Einzelstückfluss und hoch ausgelastete Mitarbeiter und Maschinen (MONDEN 1998, S. 109).

### **Verbindung zu „SMED“**

Durch die Einführung von Einzelstückfluss fallen sofort unverhältnismäßig hohe Rüstzeiten auf, da diese nach jeder Bearbeitung eines Bauteils erneut ausgeführt werden müssen. Generell verschieben sich damit die Anteile innerhalb der Durchlaufzeit von Prozesszeiten hin zu den Rüstzeiten. Der Vorteil einer bestandsarmen Fertigung durch Einzelstückfluss wird durch die deutlich höheren Rüstzeitanteile egalisiert. Für die Einführung des Einzelstückflusses ist daher die

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

gleichzeitige Verkürzung der Rüstzeiten eine notwendige Voraussetzung (OHNO 1993, S. 66; MONDEN 1998, S. 13; TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 248).

### Auswirkungen der Methode „Einzelstückfluss“ auf die Zieldimension „Zeit“

Mit der Einzelstückfertigung wird der gesamte Arbeitsprozess transparenter und Verschwendungen sichtbar. So werden Wartezeiten von Mitarbeitern während der maschinellen Bearbeitung oder auch verspätete Materialanlieferungen sichtbar gemacht (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 156). Durch den Einzelstückfluss wird aber vor allem die Durchlaufzeit der Produkte stark verringert. Eine sofortige Weitergabe eines Bauteils nach der Bearbeitung an den Folgeprozess vermeidet unnötige Wartezeiten. In einer Losfertigung wird das Bauteil nicht sofort an den nachfolgenden Prozess weitergegeben sondern muss warten bis das gesamte Los abgearbeitet worden ist. Zur Verdeutlichung dient Abbildung 41.

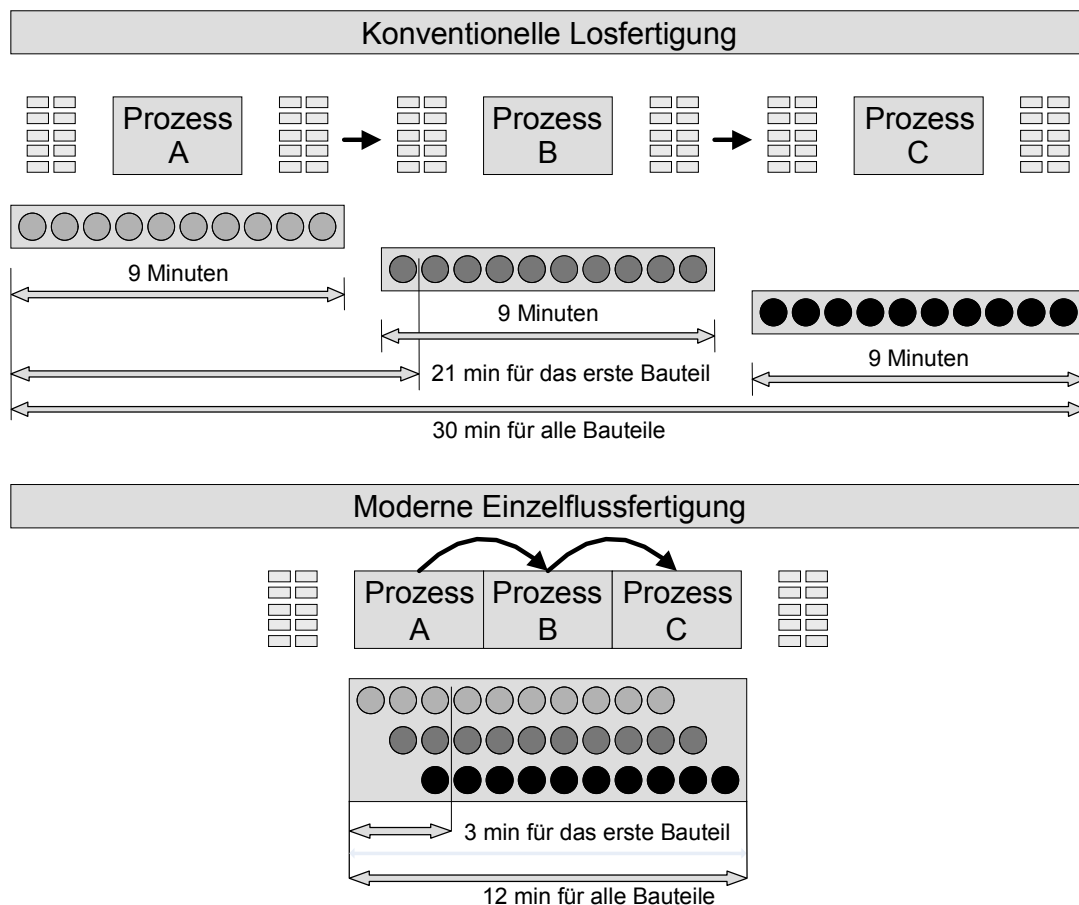


Abbildung 41: Verkürzung der Durchlaufzeit im Einzelstückfluss im Vergleich zur Fertigung in Losen bei gleicher Stückzahl pro Zeit und der theoretisch eliminierten Wartezeit ohne die Berücksichtigung etwaiger Rüstzeiten

Die Durchlaufzeit wird durch Einzelstückfluss stark verkürzt (MONDEN 1998, S. 105; TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 71; SHINGO 1989, S. 101).

### 5.2.3 Interdependenzen der Methode „Flexibles Layout“

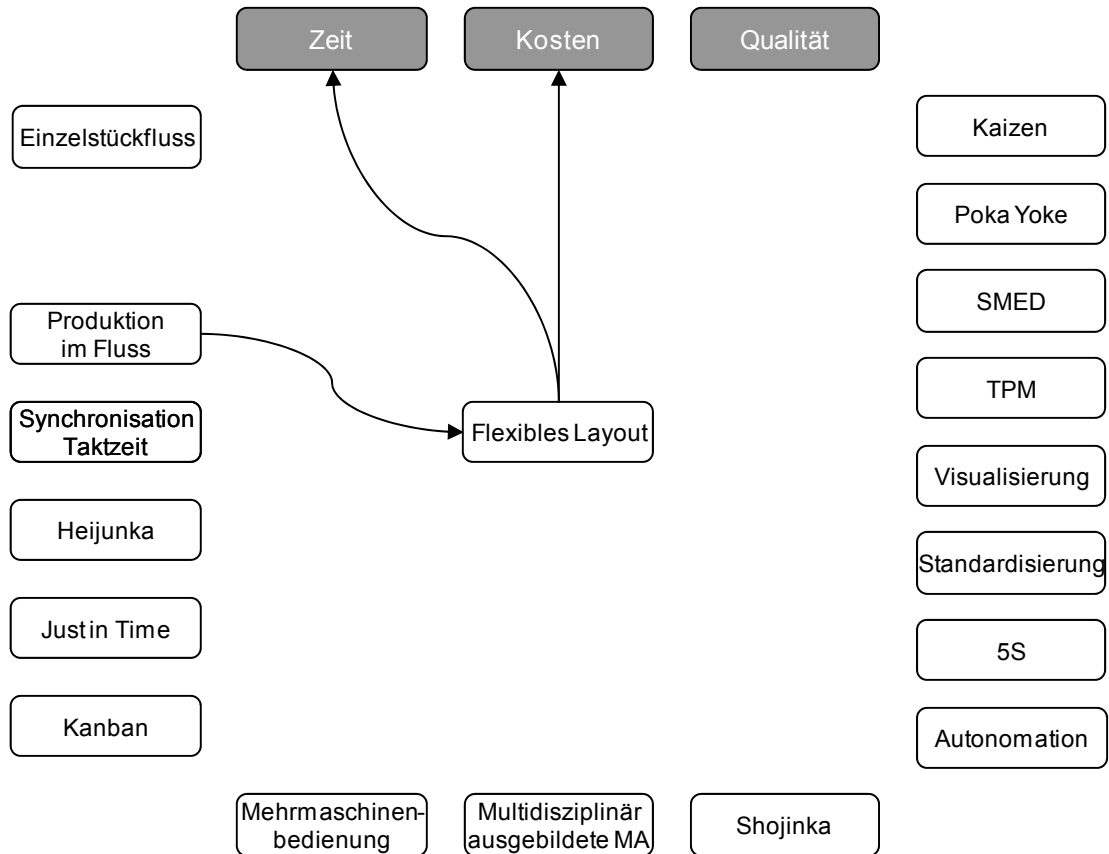


Abbildung 42: Interdependenzen der Methode „Flexibles Layout“

#### Verbindung zu „Produktion im Fluss“

Der Leitgedanke einer Produktion im Fluss ist das kontinuierliche Fließen von Material, um Verschwendungen u.a. in Form von Prozessstörungen zu erkennen. Die Aufstellung von Maschinen und Anlagen in einem flexiblen Layout benötigt zwingend die Einführung der Produktion im Fluss. Mit einer traditionellen Werkstatt- oder Inselfertigung kann kein flexibles Layout entstehen. Durch die Produktion im Fluss wird die Variation der Mitarbeiteranzahl, die in einem flexiblen Layout arbeiten, erst ermöglicht. Bei geringerer Arbeitsdichte kann die Mitarbeiteranzahl im Arbeitssystem verringert werden und so Angebot und Nachfrage wieder angeglichen werden. Damit ist Produktion im Fluss notwendig für die Umsetzung eines flexiblen Layouts (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 70 ff.).

### Auswirkungen der Methode „Flexibles Layout“ auf „Zeit“ und „Kosten“

Der in Abschnitt 3.2.2.3 beschriebene Aufbau flexibler Produktionslayouts z.B. von U-Zellen ermöglicht die Anpassung an Produktionsschwankungen durch die flexibel wählbare Anzahl an Arbeitsplätzen. Dadurch wird auch erreicht, dass sich wenig Veränderungen im Durchlauf der Bauteile ergeben. Vielmehr wird die Durchlaufgeschwindigkeit der Bauteile an den längeren Kundentakt angepasst. Dies bedeutet die Vermeidung von Verschwendung, was zusätzliche Kosten einspart. In starren Layouts wären höhere Bestände und Durchlaufzeiten die klassische Folge von Produktionsschwankungen. (s. Abbildung 43).

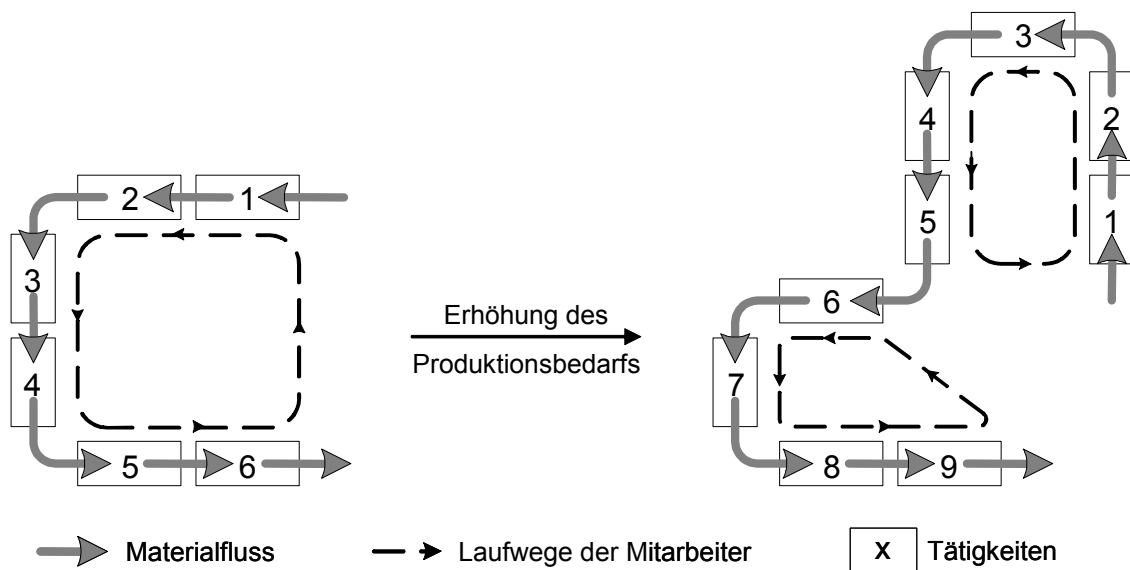


Abbildung 43: Flexibles Layout vermeidet Verschwendung und damit Kosten

Das Arbeiten in flexiblen Layouts unterstützt das gegenseitige Aushelfen bei Störungen in benachbarten Bereichen. Der Mitarbeiter mit dem gestörten Prozess kümmert sich um eine Störungsbehebung, während die in der gleichen Zelle arbeitenden Mitarbeiter Teile von dessen Bearbeitungsaufgabe übernehmen. Dies sorgt für weniger Wartezeiten und eine Beibehaltung der Taktzeit, da die Mitarbeiter nicht mehr auf die Fertigstellung der Bauteile im vorangehenden Prozess warten, sondern den Kollegen unterstützen (MONDEN 1998, S. 115).

### 5.2.4 Interdependenzen der Methode „Produktion im Fluss“

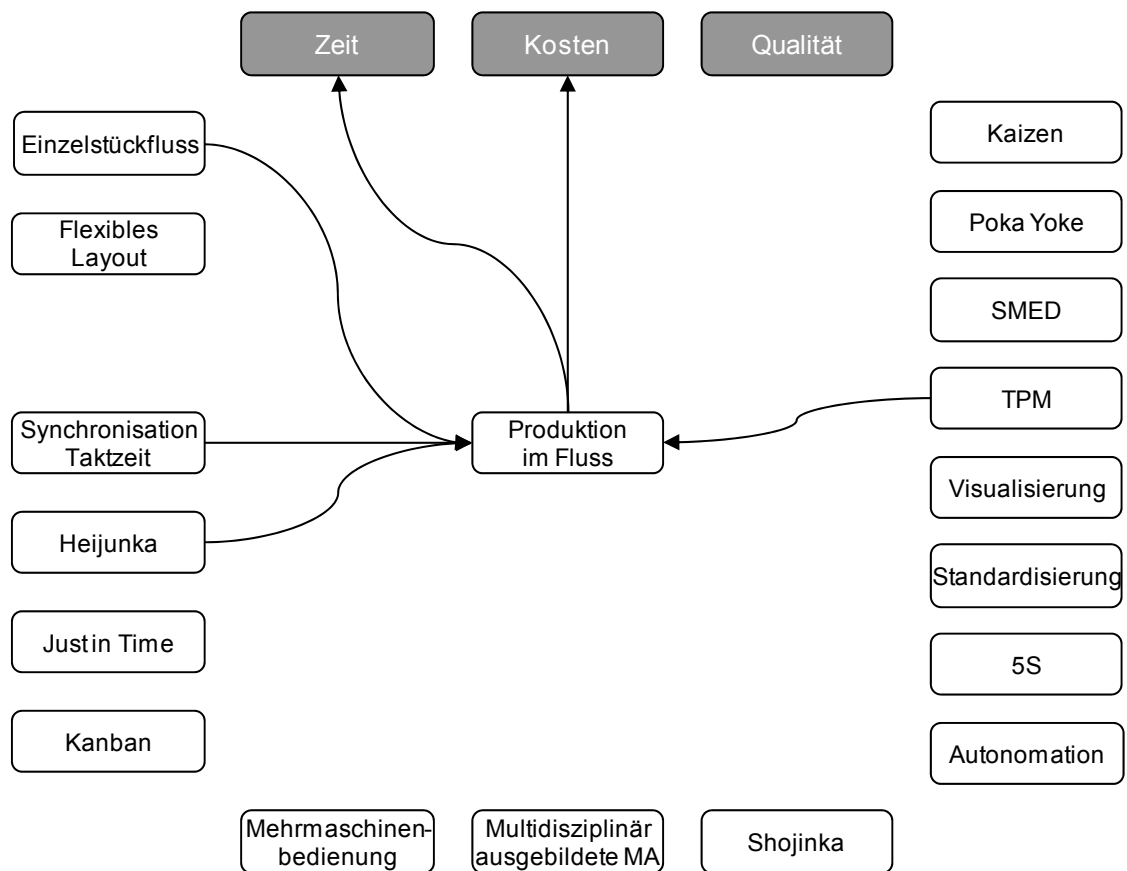


Abbildung 44: Interdependenzen der Methode „Produktion im Fluss“

#### Verbindung zu „Einzelstückfluss“

Das Pull-Prinzip (vgl. Abschnitt 3.1.5) mit einer Produktion im Fluss sollte nur in Verbindung mit der Fertigung in kleinen Losgrößen oder dem Einzelstückfluss angewendet werden, da sonst weder die Wiederbeschaffungszeit verkürzt wird noch die Bestände verringert werden (MONDEN 1998, S. 118).

#### Verbindung zu „Synchronisation“

Für Shingo ist die Produktion mit einer festen Taktzeit eine notwendige Anforderung, um einen kontinuierlichen Fluss der Produktion zu erreichen. (SHINGO 1989, S. 103). Mit der Methode Synchronisation, also der zeitlichen Anordnung von Arbeitsprozessen, sollen alle Gesamtprozesszeiten so nahe wie möglich an die Taktzeit geführt werden. Ist dies umgesetzt, werden zwischen den Gesamtprozessen keine Bestände mehr benötigt, da sich die Prozesszeit in allen Takten entspricht. In nicht synchronisierten Prozessfolgen dagegen werden durch die unterschiedlichen Durchlaufzeiten Bestände entstehen, welche im Rahmen des

Toyota-Produktionssysteme mit Verschwendung gleichzusetzen sind (OHNO 1993, S. 46).

### **Verbindung zu „Heijunka“**

Die ausgeglichene Belastung der Produktionsstrukturen bewirkt einen besseren Fluss der Produktion, da Produktionsspitzen und -täler vermieden werden. Durch den Einsatz der Methode Heijunka werden diese Produktionsschwankungen in beide Richtungen vermieden, und durch die stetige Einlastung verteilter Aufträge wird ein kontinuierlicher Fluss durch die gesamten flussaufwärts gelegenen Produktionsprozesse gewährleistet (GLENDAY 2005).

### **Verbindung zu „TPM“**

Ablauforganisatorisch verknüpfte Prozesse, die in einer Produktion im Fluss ohne Puffer angeordnet sind, müssen eine hohe Prozess- und Ausfallsicherheit besitzen, da bei Ausfall eines Prozesses sonst die gesamten nachfolgenden Prozesse ohne Bauteile wären. TPM schafft diese Sicherheit durch eine vorbeugende Instandhaltung, die unvorhergesehene Maschinenausfälle reduziert (RICH et al. 2006, S. 143).

### **Auswirkungen der Methode „Produktion im Fluss“ auf die Zieldimensionen „Zeit“ und „Kosten“**

Die Ausrichtung der Produktion nach dem Flussprinzip führt zu einer prozessorientierten Anordnung der Maschinen und Anlagen. Diese räumliche Anordnung hat durch die Nähe der Maschinen und Anlagen zueinander den Vorteil, dass die Transportbewegungen eines Bauteils gering bleiben. Ebenso werden unnötige Bestände zwischen Prozessen eingespart bzw. nicht weiter aufgebaut. Die Methode Produktion im Fluss unterstützt damit die Kostenreduktion durch Verschwendungsvermeidung (SHINGO 1989, S. 102). Takeda formuliert diesen Sachverhalt folgendermaßen: *„Wo nicht im Fluss produziert wird, entsteht Verschwendung“* (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 69). Neben der Reduktion von Beständen wird ebenfalls die Durchlaufzeit verringert (SHINGO 1989, S. 103).

### 5.2.5 Interdependenzen der Methode „Synchronisation“

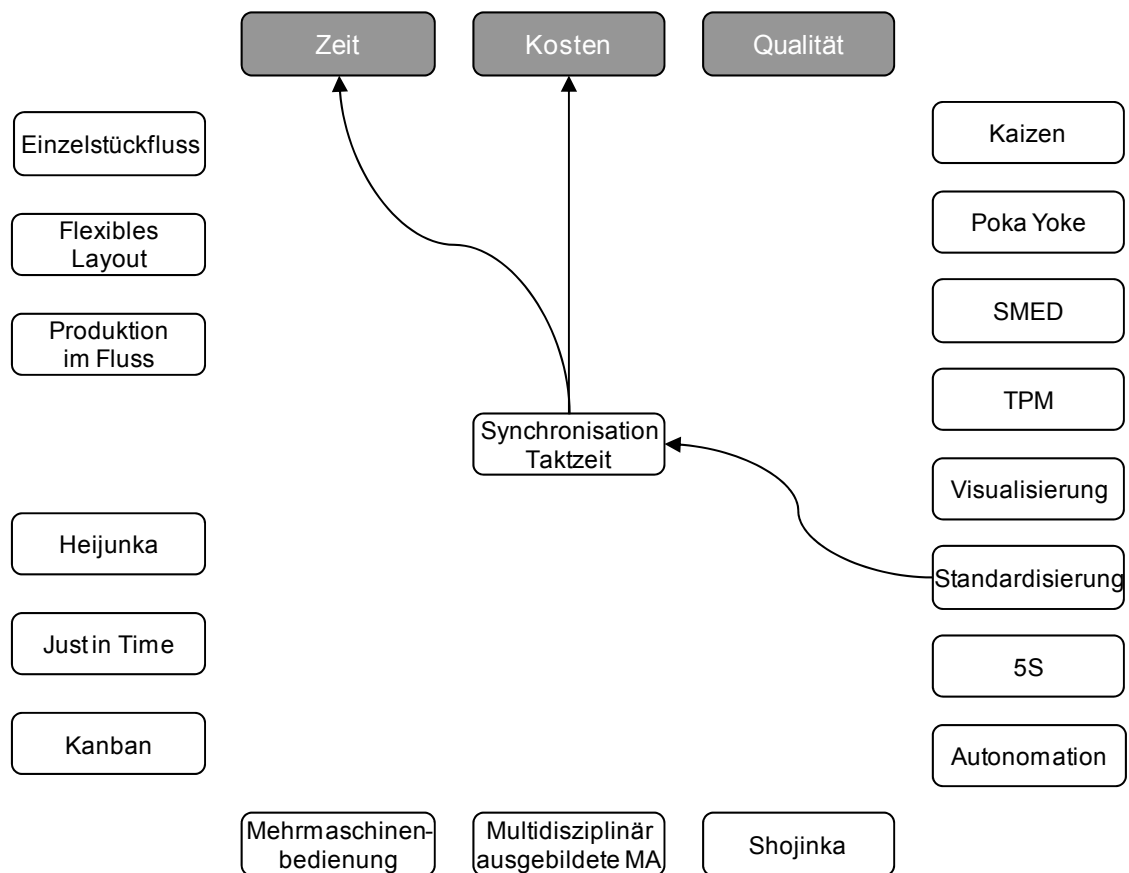


Abbildung 45: Interdependenzen der Methode „Synchronisation“

#### Verbindung zu „Standardisierung“

Die Standardisierung von Arbeitsinhalten und -prozessen ermöglicht die Definition von Taktzeiten zur Synchronisierung von Prozessen (DENNIS 2002, S. 51), da nur mit standardisierten Prozessen kontinuierlich gleiche Bearbeitungszeiten zu erreichen sind. Mit kontinuierlich gleichen Arbeitszeiten können Prozesse im Rahmen einer Austaktung optimal in eine bestehende Taktzeit eingeplant werden.

#### Auswirkungen der Methode „Synchronisation“ auf „Zeit“ und „Kosten“

Ein Resultat der Synchronisation von Prozessen ist der gleichmäßige Fluss der Werkstücke durch die Produktion. Durch aufeinander abgestimmte Bearbeitungszeiten wird eine gleichmäßige Fließgeschwindigkeit der Werkstücke erzielt. Dies macht Bestände zwischen den Prozessen überflüssig. Geringere Bestände wiederum führen zu einer Kosteneinsparung (SHINGO 1989, S. 128). Der gleichmäßige Durchlauf der Werkstücke durch den Produktionsbereich verhindert also

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

Bestandsanhäufungen zwischen den Prozessen und führt damit auch zu einer kürzeren Durchlaufzeit (SHINGO 1989, S. 37). Nach Shingo lassen sich so Durchlaufzeiten auf ein Fünftel der Zeit reduzieren (SHINGO 1989, S. 101).

Wenn im Rahmen der Synchronisation variable Übergabestellen zwischen den Prozessen definiert werden, so können sich Mitarbeiter im Falle von Störungen innerhalb eines Arbeitssystems flexibel um diese Schnittstelle bewegen. Die Störung können gemeinsam behoben werden und trotzdem kann die geforderte Taktzeit realisiert werden. Dies führt insgesamt zu weniger Störungen im Gesamtsystem und senkt damit die Durchlaufzeiten (MONDEN 1998, S. 114).

### 5.2.6 Interdependenzen der Methode „Produktionsnivellierung - Heijunka“

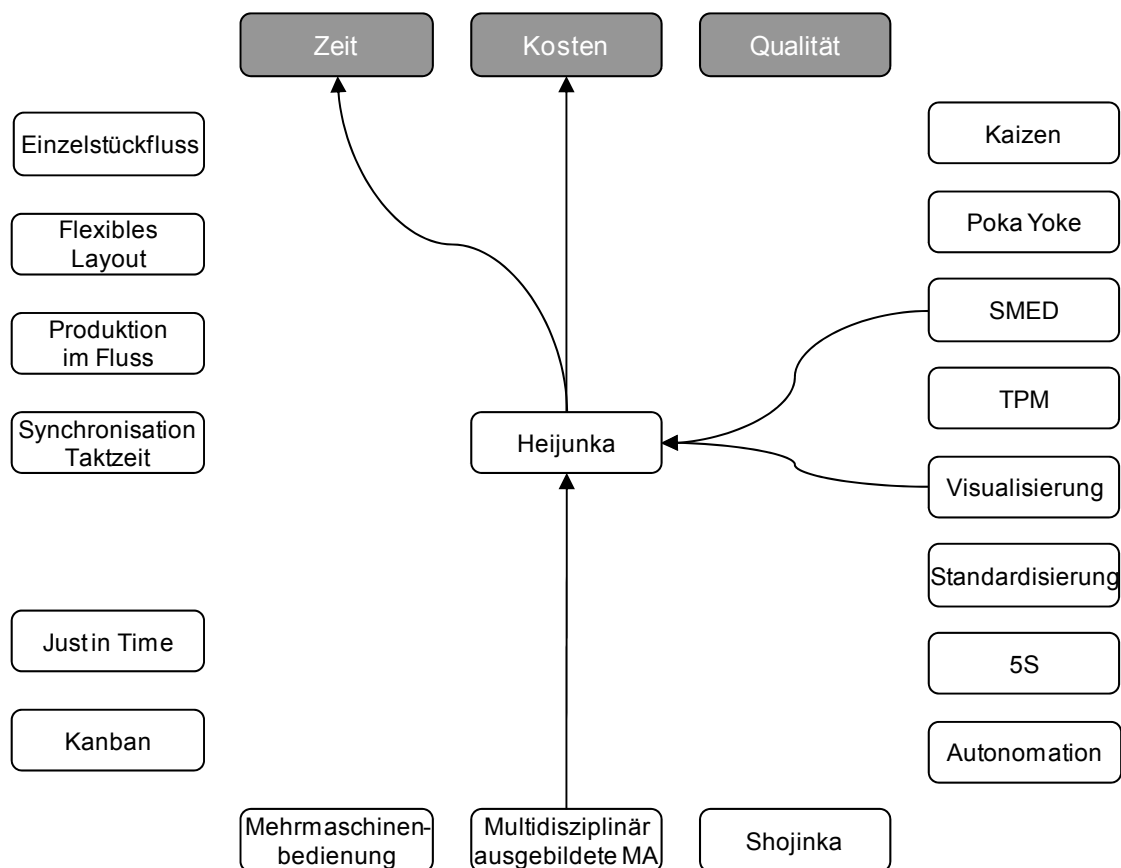


Abbildung 46: Interdependenzen der Methode „Produktionsnivellierung - Heijunka“



### Verbindung zu „multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

Das Ziel von Heijunka ist es möglichst viele Produkte in hintereinander geschalteten kurzen Zyklen zu produzieren. Vielfach qualifizierte Mitarbeiter sind hierfür die Voraussetzung. Besonders Mitarbeiter an automatisierten Anlagen und in der Montagelogistik müssen entsprechend geschult sein, um die durch Heijunka hervorgerufenen häufigen Produktwechsel zu bewältigen (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 246).

Als wichtige Voraussetzung für die Methode Produktionsglättung benennt Monden flexible Ressourcen und Mitarbeiter (MONDEN 1998, S. 70), da für eine funktionierende Produktionsglättung eine Vielzahl an unterschiedlichen Produkten oder Varianten zu fertigen ist. Optimal zur Einführung von Produktionsglättung sind daher flexible Fertigungssysteme mit entsprechend ausgebildeten Mitarbeitern.

### Verbindung zu „Visualisierung“

Visualisierung ist nach Takeda ebenfalls eine Voraussetzung für Produktionsnivellierung (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 246). Bei einem funktionierenden Visualisierungsmanagement sind die Mitarbeiter in der Lage sich besser und schneller auf unterschiedliche Produktionsabfolgen einzustellen. Die Visualisierungswerkzeuge helfen bei einem starken Produktmix die geforderten Qualitäten und Zeiten einzuhalten.

### Verbindung zu „SMED“

Durch die häufigen Wechsel der Produkte in einer geglätteten Produktion und die daraus resultierenden häufigen Rüstwechsel gewinnt die Rüstzeit eine höhere Bedeutung für die Gesamtdurchlaufzeit der Produkte.

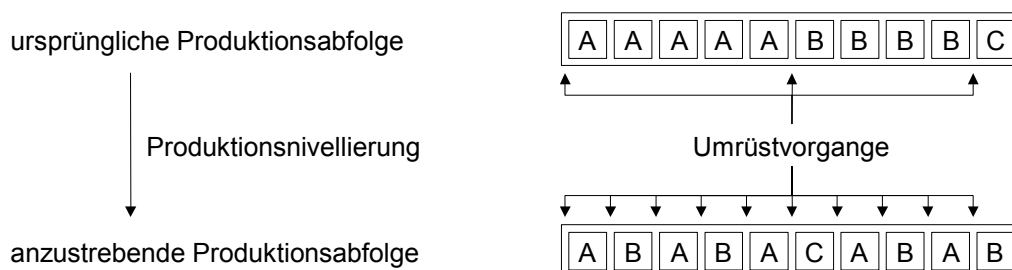


Abbildung 47: Abhängigkeit zwischen der Anzahl an Rüstvorgängen und einer nivellierten Auftragseinlastung

Daher ist für die nivellierte Produktion die Reduzierung der Rüstzeiten eine „... *unbedingte Voraussetzung. (...) Das Niveau der geglätteten Produktion wird direkt vom Niveau des Umrüstens bestimmt*“ (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 246). Abbildung 47 erklärt die Zunahme der Anzahl der Umrüstvorgänge durch die Einführung der Methode Produktionsnivellierung.

### **Auswirkungen der Methode „Produktionsnivellierung - Heijunka“ auf die Zielgrößen „Zeit“ und „Kosten“**

Die Auswirkungen einer Produktionsnivellierung sind nach Takeda & Meynert der „*geringste Einsatz an Beständen, Anlagen und Personal (...) kurze Durchlaufzeiten (...) und die vom Kunden geforderte Produktvielfalt*“ (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 51). Laut Shingo ist es realistisch, mit der gemeinsamen Einführung von Produktionsnivellierung und Synchronisation, die Gesamtdurchlaufzeit auf 20% des Ausgangswertes zu senken (SHINGO 1989, S. 101). Eine Bestandssenkung ist nach Takeda und Meynert nicht nur ein Nebeneffekt von Produktionsnivellierung, sondern ein angestrebtes Ziel und damit ein Grund zur Implementierung der Methode.

*„Das Mittel zur Verminderung der Lagerbestände ist die nivellierte, geglättete Produktion, beginnend mit dem letzten Prozess“ (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 43).*

Eine nivellierte Produktion ermöglicht es Kapazitätsspitzen zu vermeiden und eine gleichmäßige Einlastung zu generieren. Dies führt zu einem geringeren Bedarf an Maschinen und Anlagen, die zugleich eine höhere Auslastung haben und führt zur Vermeidung von Verschwendung und Kosten durch die Einführung von Heijunka (OELTJENBRUNS 2000, S. 40; OHNO 1993, S. 155).

### 5.2.7 Interdependenzen der Methode „Just in time“

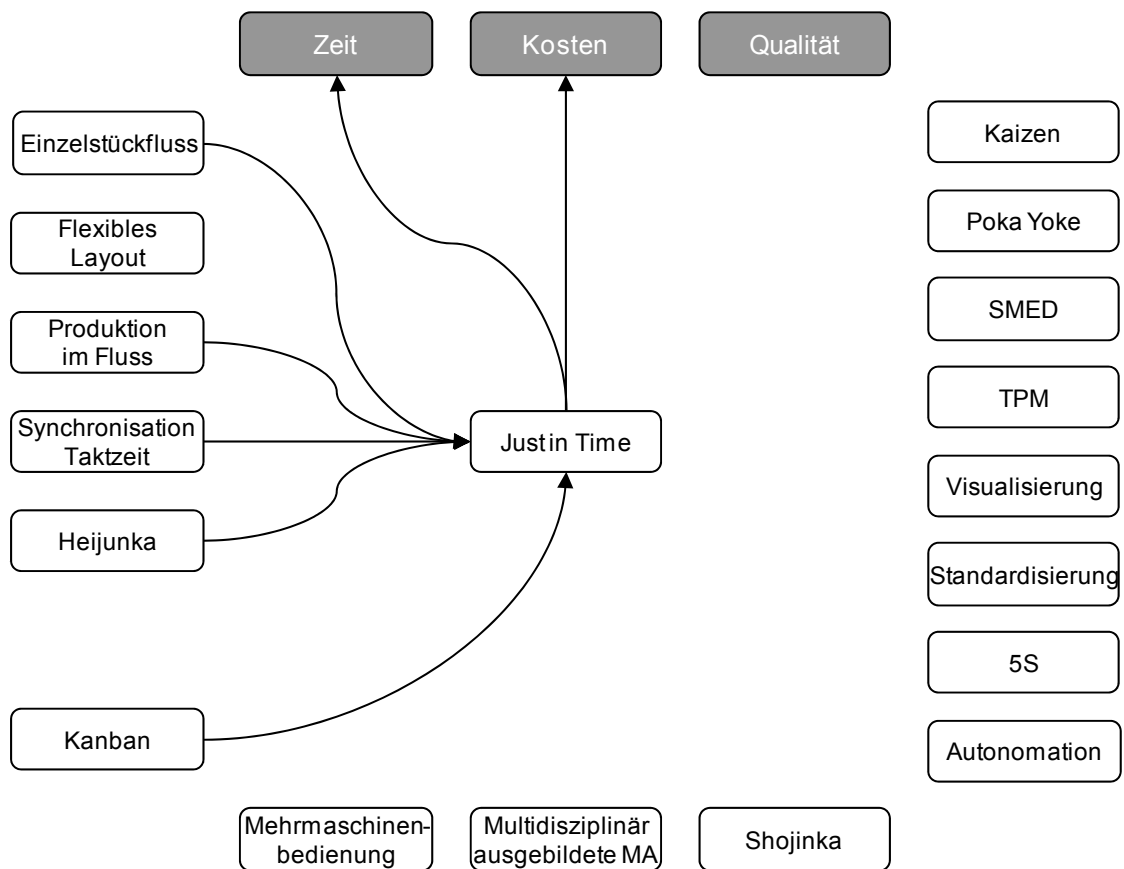


Abbildung 48: Interdependenzen der Methode „Just in Time“

#### Verbindung zu „Einzelstückfluss“

Um JiT zu ermöglichen, bedarf es einer Null-Fehler-Produktion. Um diese zu erreichen, ist für Karlsson und Ahlström das wesentlichste Element die Produktion im Einzelstückfluss oder mit kleinen Losgrößen, weil so Störungen und Fehler im Produktionsprozess sofort auffallen (KARLSSON & AHLSTRÖM 1996).

#### Verbindung zu „Produktion im Fluss“ und „Synchronisation“

Die Methoden Produktion im Fluss und Synchronisation befähigen in gemeinsamer Anwendung die Produktion zur JiT-Fertigung. Die aufeinander abgestimmte Taktung der Bearbeitungsprozesse im Verbund mit einer gleichmäßigen Fließgeschwindigkeit führen zur notwendigen Transparenz und Stabilität um im JiT-Verfahren zu produzieren. Ein weiteres Resultat ist die Reduktion der Durchlaufzeiten (OELTJENBRUNS 2000, S. 40).

### Verbindung zu „Heijunka“

JiT ist eine ablauforganisatorische Steuerungsphilosophie zur Bereitstellung von Teilen an einem Arbeitsplatz. Das JiT-Konzept unterliegt vielen variablen Einflussgrößen. Es arbeitet am effizientesten innerhalb eines eingeschwungenen Systems. Daher ist für Monden die Methode Heijunka oder Produktionsglättung eine wichtige Voraussetzung für die JiT-Produktion (MONDEN 1998, S. 376).

Mittels der Methode Heijunka wird eine der größten unberechenbaren Einflussfaktoren, die Kundennachfrage, für die Produktion „gezähmt“. Durch die sich wiederholende produktbezogene Aufteilung von Kundenaufträgen in immer kleinere Zyklen sorgt Heijunka für eine ausgeglichene Produktion. Die Methode Heijunka trägt damit zur erfolgreichen Umsetzung des JiT-Ansatzes bei, indem sie zusätzlich zur Kanban-Bewirtschaftung für möglichst genaue Produktionszahlen sorgt und so Bestände verringert (SHINGO 1993, S. 18).

### Verbindung zu „Kanban“

Die Methode *Just in Time* ist neben der Methode *Autonomation* eine der beiden Grundpfeiler des Toyota-Produktionssystems (SHINGO 1993, S. 139). Für Ohno kommt der Methode Kanban in Bezug auf die Methode JiT eine besondere Bedeutung zu, indem er sagt:

„Das Instrument für die Umsetzung dieses Prinzips ist Kanban“  
(OHNO 1993, S. 52).

Kanban ist ein, sich in den vorher festgelegten Regeln, selbst steuerndes System, das die Bestände zwischen den Prozessen reguliert. Mittels Kanban werden jedoch nicht nur die Bereitstellung gesteuert, sondern es werden auch Produktionsaufträge an Maschinen vergeben. Damit wird über die Methode Kanban nicht nur der Bestand auf mehreren logistischen Stufen geregelt, sondern Kanban kann ohne systemische Kenntnisse für eine lückenlose Versorgung der Endmontage genutzt werden (OHNO 1993, S. 79 f.).

### Auswirkungen der Methode „Just in Time“ auf „Zeit“ und „Kosten“

In der Fertigung nach dem JiT-Konzept werden Bauteile stets zum benötigten Zeitpunkt angeliefert werden. Damit wird im Serienprozess sämtliche Lagerhaltung überflüssig (OHNO 1993, S. 17, S. 30, S. 69, S. 76). Bauteile werden zeitlich exakt bedarfsgerecht angeliefert und Kosten werden durch geringere Bestände reduziert.

### 5.2.8 Interdependenzen der Methode „Kanban“

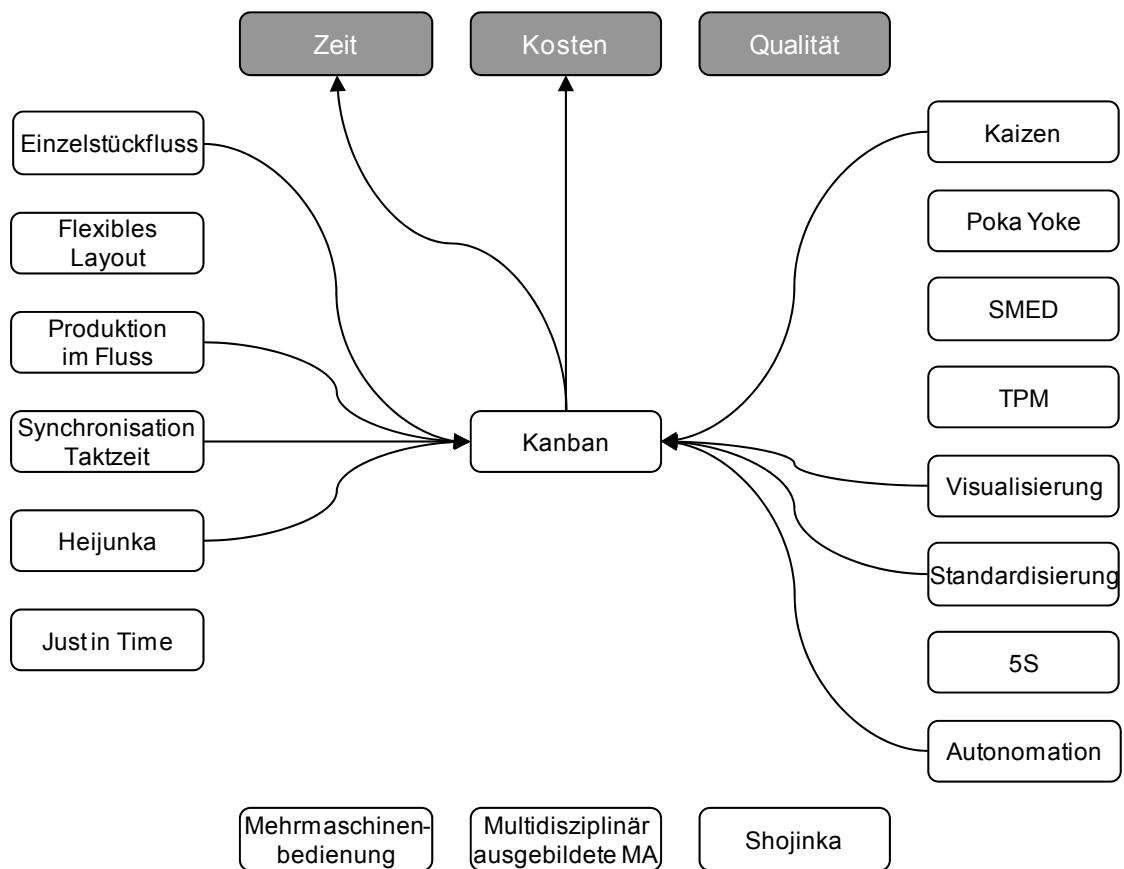


Abbildung 49: Interdependenzen der Methode „Kanban“

#### Verbindung zu „Produktion im Fluss“ und „Einzelstückfluss“

Die Einführung der Methode Produktion im Fluss in Verbindung mit einem darauf abgestimmten Fertigungslayout bezeichnen Takeda und Meynert (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 248) als die wichtigste von insgesamt sieben Voraussetzungen für Kanban. Ohno schließt sich dieser Meinung an (OHNO 1993, S. 60 f.). Weiterhin nennt Takeda das Prinzip des Einzelstückflusses als Voraussetzung für Kanban, da durch den Einzelstückfluss die Produktionsmenge eines Prozesses an die exakt benötigte Anzahl von Teilen für Kanbanbehälter angepasst werden kann (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 195).

#### Verbindung zu „Synchronisation“ und „Heijunka“

Oeltjenbruns beschreibt die gleichmäßige Verteilung der Arbeit (Heijunka) als Voraussetzung für den Einsatz des Pull-Prinzips, das vor allem durch Kanbankreisläufe realisiert wird. Ohne eine geglättete Produktion müssten die Kapazitäten für jeden Prozess deutlich höher sein, um die Auftragsspitzen ebenso zügig

abearbeiten zu können. Dies hätte höhere finanzielle Aufwendungen zur Folge. Produktionsnivellierung ermöglicht erst die wirtschaftliche Fertigung nach dem Pull-Prinzip in der Umsetzung mit Kanban und einer einheitlichen synchronisierten Taktzeit (OELTJENBRUNS 2000, S. 40; MONDEN 1998, S. 24 ff.). Die Methode Produktionsnivellierung sieht auch Ohno als wichtige Voraussetzung zur Realisierung eines Kanban-Systems (OHNO 1993, S. 61). Durch die Glättung der Produktionsaufträge gibt es eine gleichmäßige Auslastung und eine genauere Vorhersehbarkeit der zukünftigen Auftragseingänge, um so die nötigen Kanban-Bestände klein zu halten (OHNO 1993, S. 52 ff.).

### **Verbindung zu „Autonomation“**

Autonomation ist eine Methode zur Verhinderung der Weitergabe fehlerhafter Teile zum folgenden Produktionsprozess. Damit unterstützt Autonomation einen stabilen Produktionsprozess, der für die Implementierung eines Kanban-Systems notwendig ist (MONDEN 1998, S. 6).

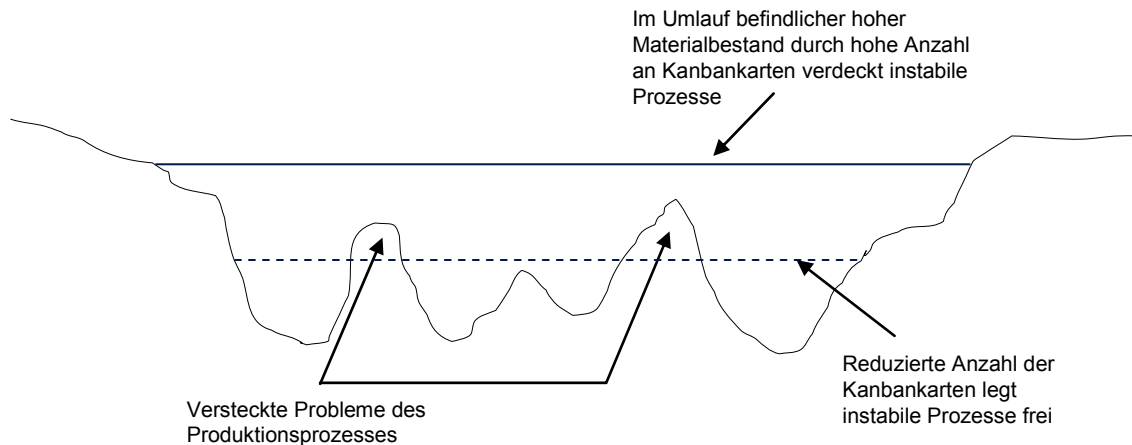
### **Verbindung zu „Standardisierung“**

Das standardisierte kontinuierliche Arbeiten auf Basis standardisierter Prozessbeschreibungen wird in der Literatur als notwendige Voraussetzung für Kanban gesehen. Durch standardisierte Arbeitsverfahren wird sichergestellt, dass der Produktionsprozess stabil und verlässlich läuft, was eine Bedingung für jeden Kanban-Kreislauf ist (DENNIS 2002, S. 70; OHNO 1993, S. 61; MONDEN 1998, S. 24).

### **Verbindung zu „Visualisierung“**

Das Kanban-System beruht auf Visualisierung (DENNIS 2002, S. 70). Es wird mit Karten gesteuert, die die sich im Umlauf befindende Behältermenge darstellen. Ziel ist die kontinuierliche Absenkung von Beständen, um durch Überbestände verborgene Probleme in der Produktion zu identifizieren. Die kontinuierliche Verringerung der Anzahl der Kanban-Karten trägt damit zur erleichterten Identifizierung von Problembereichen (visuelle Kontrolle) bei (SHINGO 1993, S. 158). Zum besseren Verständnis dieses Zusammenhanges dient Abbildung 50. Dargestellt ist ein mit Wasser gefülltes Gelände, bspw. ein See, dessen Untiefen aufgrund der Wasserhöhe nicht sichtbar sind. Das Wasser des Sees steht im Bild für Bestände, die Untiefen repräsentieren Probleme im Produktionsablauf. Die Untiefen sind bei einem hohen Wasserstand nicht sichtbar, genau so, wie aufgrund von Überbeständen Probleme im Produktionsablauf nicht sichtbar sind. Wird der Pegelstand des Sees verringert, dann tauchen auf der Seeoberfläche die Untiefen

auf und werden sichtbar. Übertragen auf den Produktionsprozess heißt das, dass durch eine Bestandsabsenkung im Produktionsablauf die ersten Störungen sichtbar werden, die zuvor durch Puffer unbemerkt blieben.



*Abbildung 50: Identifizierung von Problembereichen im Produktionsablauf durch die Einführung von Kanban mit einer dadurch folgenden Bestandsenkung. Das Problem wird symbolisiert durch das Absenken von Wasser aus einem See, in dem durch das Wasserablassen Untiefen sichtbar werden. (nach SHINGO 1993, S. 158)*

### **Verbindung zu „Kaizen“**

Ein optimal ausgelegter Kanbankreislauf kommt mit einem Minimum an Beständen aus. Dadurch wird er jedoch anfälliger gegenüber Störungen. Um mögliche Störungsquellen zu identifizieren, kann das Kanban-System genutzt werden. Verbesserungsbedürftige Prozesse werden dadurch identifiziert, dass die Bestände so weit abgesenkt werden, bis erste Störungen auftreten. Diese sind sofort in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess aufzunehmen. Dies setzt voraus, dass ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess installiert ist. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess ist damit ein Bestandteil des Kanban-Systems, der durch Störungsbeseitigung für eine kontinuierliche Bestandssenkung sorgt. Damit ist die Kombination der beiden Methoden *Kanban* und *Kaizen* eine effektive Methode zur Stabilisierung der Produktion (OHNO 1993, S. 70).

### **Auswirkungen der Methode „Kanban“ auf die Zielgrößen „Zeit“ und „Kosten“**

Die Steuerung in Kanban-Prozessen funktioniert rein bedarfsbezogen. Es gibt einen definierten Bestand in einem Kanban-Kreislauf und erst wenn dieser unterschritten ist, wird durch den vorgelagerten Prozess nachproduziert. Ein getakteter

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

Produktionsplan, wie in einer Push-Fertigung üblich, existiert nicht. Durch diese Art der rein bedarfsgesteuerten Produktion wird Überproduktion verhindert (HOPP & SPEARMAN 2004; SHINGO 1993, S. 98 f.; TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 218). Dadurch werden nur die geforderten Teile zum benötigten Zeitpunkt geliefert und Kosten eingespart. Ohno formuliert das folgendermaßen:

*„Im Toyota-Produktionssystem wird Überproduktion durch Kanban vollständig verhindert. Folglich besteht kein Bedarf an zusätzlichem Lagerbestand, und daher sind auch Lagerhäuser und deren Verwaltung überflüssig“ (OHNO 1993, S. 55).*

### 5.2.9 Interdependenzen der Methode „Mehrmaschinenbedienung“

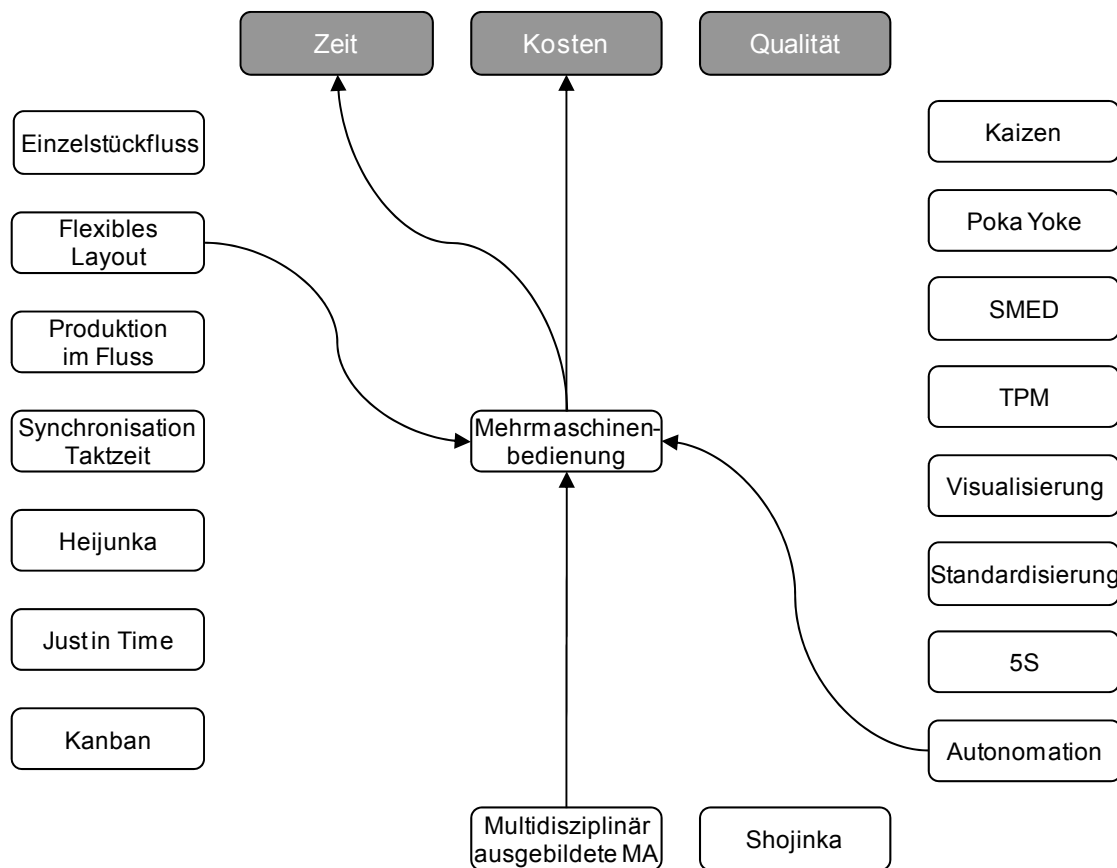


Abbildung 51: Interdependenzen der Methode „Mehrmaschinenbedienung“



### **Verbindung zu „Flexibles Layout“**

Durch die Anordnung der Arbeitsprozesse in einem U-Layout werden kurze Wege zwischen den Maschinen erreicht. Diese lassen sich dann mit kurzen Laufwegen parallel bedienen (WILDEMANN 2005, S. 115).

### **Verbindung zu „multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“**

Um eine Mehrmaschinenbedienung realisieren zu können, müssen Mitarbeiter ein breites Fachwissen besitzen. Die prozessorientierte Anordnung der Maschinen erfordert oft sogar ein technologieübergreifendes Wissen, z.B. Drehen und Fräsen. Im Gegensatz dazu sind Mitarbeiter in traditionellen Arbeitsstrukturen wie der Werkstattfertigung Spezialisten in ihrer Fertigungstechnologie (MONDEN 1998, S. 109).

### **Verbindung der Methode „Mehrmaschinenbedienung“ zu „Autonation“**

Um die Mehrmaschinenbedienung einführen zu können, müssen Maschinen und Anlagen so ausgelegt sein, dass, im Falle von Fehlern während des Bearbeitungsprozesses und daraus resultierenden Qualitätsproblemen, die Maschine oder Anlage selbständig die Bearbeitung stoppt. Mithilfe von Autonation werden Maschinen und Anlagen an qualitätsrelevanten Punkten mit Vorrichtungen versehen, die genau diese Aufgabe der kontinuierlichen Überwachung und automatischen Stoppfunktion versehen. Damit ist es möglich, Maschinen unbeaufsichtigt fertigen zu lassen und die Mitarbeiter können Einlege-, Entnahme- sowie Prüftätigkeiten an mehreren Maschinen durchführen.

### **Auswirkung der Methode „Mehrmaschinenbedienung“ auf die Zielgrößen „Zeit“ und „Kosten“**

Der Durchfluss von Werkstücken durch eine von Mehrmaschinenbedienung geprägte Arbeitsstruktur erfolgt in kleinen Losen, bestenfalls im Einzelstückfluss. Die Weitergabe der Werkstücke geschieht in aufeinander abgestimmten Prozessabläufen direkt nach dem jeweiligen Prozessende mit nur geringen Wartezeiten und bestenfalls ohne Bestände. Dies verringert die Wartezeiten von Mitarbeitern (MONDEN 1997, S. 106), und erhöht deren Produktivität (SHINGO 1989, S. 57; MONDEN 1998, S. 10).

### 5.2.10 Interdependenzen der Methode „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

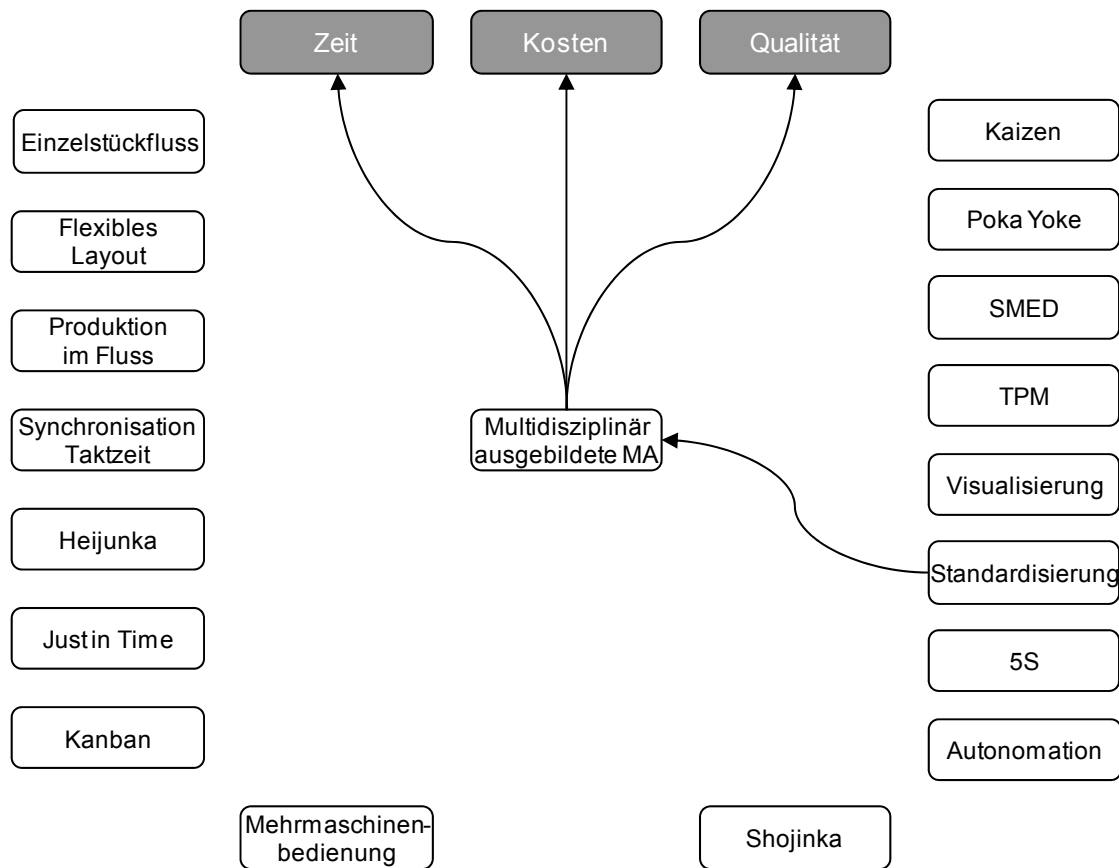


Abbildung 52: Interdependenzen der Methode „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

#### Verbindung zu „Standardisierung“

Standardisierung erleichtert es, multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter einzusetzen (DENNIS 2002, S. 50), da standardisierte Tätigkeiten eher von neuen oder noch nicht geschulten Mitarbeitern erlernbar sind. Im Falle von nicht standardisierten Tätigkeiten werden für komplexe Bereiche immer „Spezialisten“ benötigt, die die jeweiligen spezifischen Anforderungen kennen und damit umgehen können.

#### Auswirkung der Methode „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“ auf die Zielgrößen „Zeit“, „Qualität“ und „Kosten“

Job-Rotation ist bei Toyota ein fester Bestandteil der Mitarbeiterausbildung und prägt auch nach der Ausbildung weiterhin die Arbeitsorganisation. Durch die abwechselnden Anforderungen an den unterschiedlichen Arbeitsplätzen sind die

Mitarbeiter motivierter und leistungsfähiger. Monotonie und Betriebsblindheit wird durch die kontinuierliche Rotation entgegengewirkt, was sich in einer höheren Quote substanzieller Verbesserungsideen widerspiegelt. Dies wiederum führt in Verbindung mit Kaizen zu Verbesserungen in allen drei Zielgrößen (MONDEN 1998, S. 171).

### 5.2.11 Interdependenzen der Methode „Shojinka“

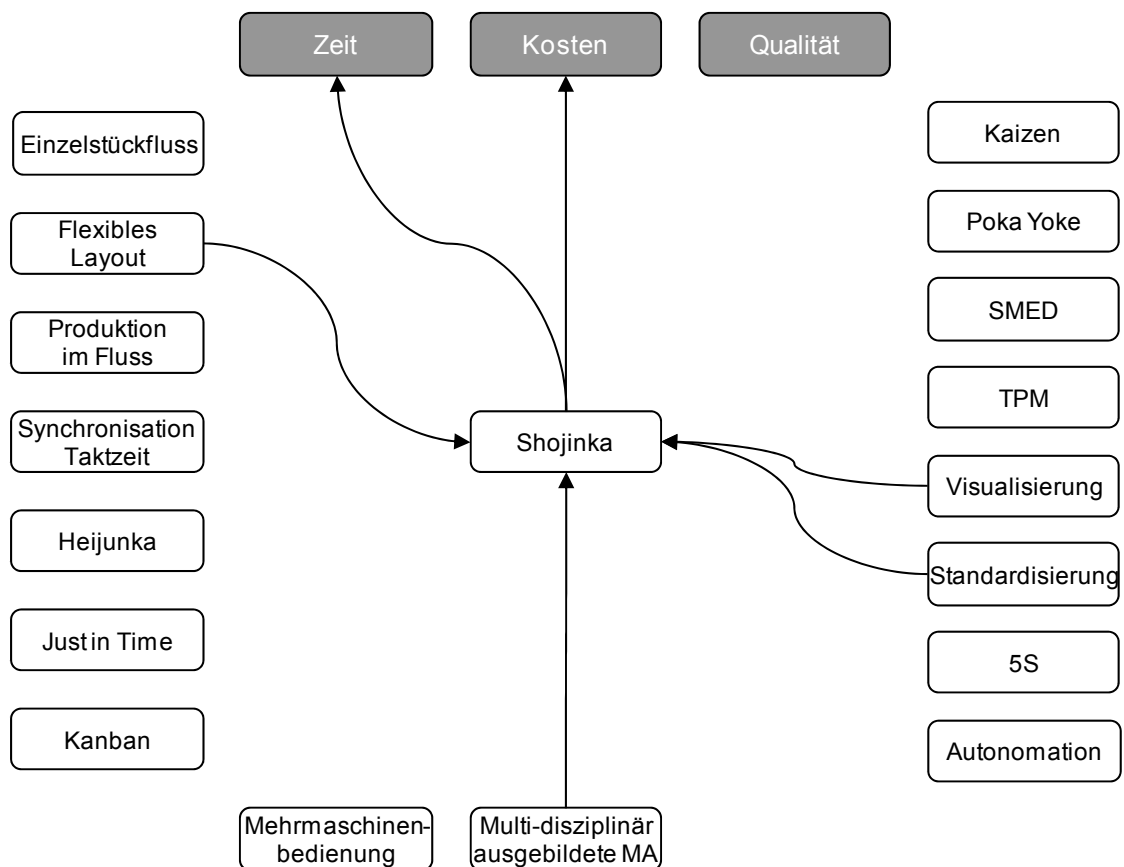


Abbildung 53: Interdependenzen der Methode „Shojinka“

#### Verbindung zu „Flexibles Layout“

Shojinka beschreibt die schnelle Anpassung der Mitarbeiterzahlen innerhalb der Arbeitsprozesse, um z.B. auf eine kurzfristig veränderte Auftragslage reagieren zu können. Um diese Flexibilität nutzen zu können, ist auch eine flexible Anpassung der Zuordnung von Prozessen zu Arbeitsplätzen erforderlich. Dies kann durch die Schaffung leicht veränderbarer Strukturen im Layout erreicht werden.

Die Planung flexibler Layouts unterstützt daher die Anpassung von Mitarbeiterzahlen an veränderte Anforderungen (MONDEN 1998, S. 159 f.).

### Verbindung zu „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

Ebenso wie flexibel gestaltete Arbeitsplätze für Shojinka benötigt werden, müssen auch die Mitarbeiter den unterschiedlichen Anforderungen im Rahmen eines flexiblen Einsatzes entsprechen. Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter sind daher Voraussetzung für den flexiblen Mitarbeiterereinsatz (MONDEN 1998, S. 160 ff.).

### Verbindung zu „Standardisierung“ und „Visualisierung“

Mit dem flexiblen Einsatz von Mitarbeitern ändern sich auch die Anforderungen an die Mitarbeiter häufig. Für deren Unterstützung und zur Sicherstellung von Prozess- und Produktqualität bietet sich die Standardisierung der Prozessabläufe an (MONDEN 1998, S. 5, S. 160). Im Verbund mit Visualisierungen der Arbeitsprozesse wird so eine Grundlage für den effizienten Einsatz der Methode Shojinka gelegt. Die von Monden genannten Zusammenhänge bezüglich Shojinka sind in Abbildung 54 visualisiert.

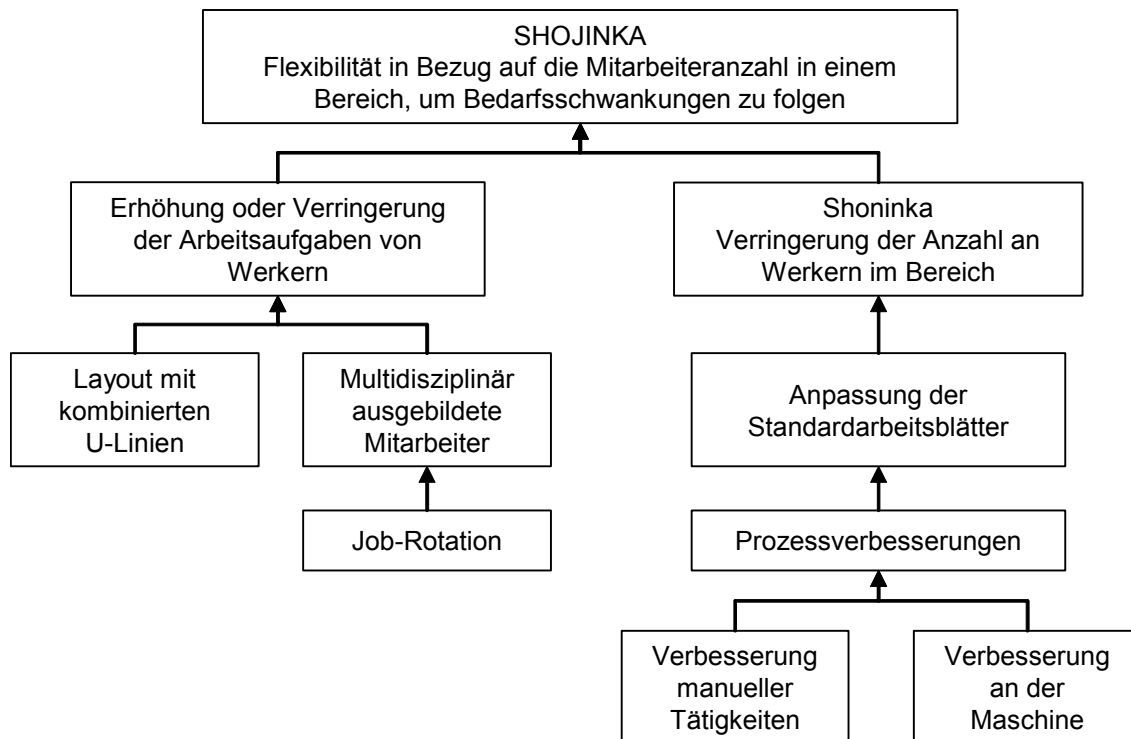


Abbildung 54: Interdependenzen der Methode „Shojinka“ (nach MONDEN 1998, S. 160)

### Auswirkung der Methode „Shojinka“ auf „Zeit“ und „Kosten“

Mit der Nutzung der Methode Shojinka ist es möglich, die Mitarbeiter, angepasst an die jeweilige Auftragsituation im Unternehmen, variabel einzusetzen. Shojinka versetzt ein Unternehmen in die Lage, auf Schwankungen von Kundenaufträgen schnell reagieren zu können. Im Fall einer niedrigen Auslastung können Kosten für überzählige Mitarbeiter vermieden werden. Im Falle einer hohen Auslastung können Produkte schneller geliefert werden (MONDEN 1998, S. 159).

### 5.2.12 Interdependenzen der Methode „Autonomation“

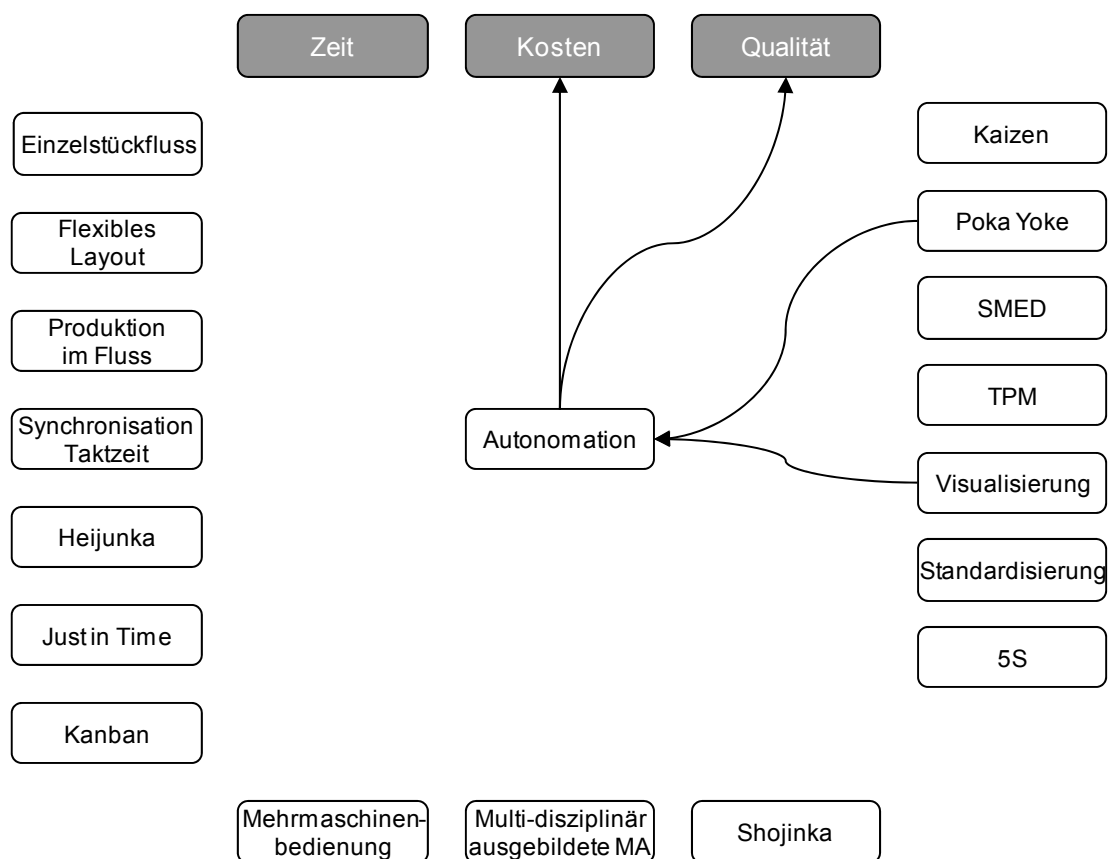


Abbildung 55: Interdependenzen der Methode „Autonomation“

### Verbindung zu „Visualisierung“

Über autonome Automation werden Fehler im Prozess detektiert. Die betroffenen Prozesse werden daraufhin automatisch angehalten (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 174). Die Methode Visualisierung erzeugt Transparenz durch Visualisierungen von Prozessstatus und dem direkten Aufzeigen von Störungen. In Kombination mit der Methode Visualisierung entfaltet die Methode Autonomation erst ihre volle Wirkung (OHNO 1993, S. 75).

### **Verbindung zu „Poka Yoke“**

Durch die Implementierung von Poka Yokes in Maschinen und Anlagen werden diese bei Fehlbedienung nicht gestartet oder der Prozess wird bei Auftreten eines Fehlers durch die Poka Yokes unterbrochen, bis der Mitarbeiter das Problem manuell gelöst hat (OELTJENBRUNS 2000, S. 46).

### **Auswirkungen der Methode „Autonomation“ auf „Qualität“ und „Kosten“**

Die Idee von Autonomation liegt in der unmittelbaren Detektion von Unregelmäßigkeiten in Arbeitsprozessen durch Einrichtungen an Maschinen und Anlagen. Diese Einrichtungen sorgen für einen sofortigen Stopp des Produktionsprozesses im Falle einer erfassten Abweichung. Existieren solche Einrichtungen an Maschinen und Anlage nicht, so *„wird jede Anlage, jede Linie im Werk zu einer Massenproduktionsstätte von Schlechtteilen“* (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 175).

Durch den sofortigen Bandstopp wird Qualität sichergestellt und es werden Ausschusskosten vermieden. Auch Ohno formuliert dies ähnlich: *„Sie [die Methode Autonomation] beseitigt Überproduktion (...) und verhindert die Herstellung fehlerhafter Produkte“* (OHNO 1993, S. 34).

### 5.2.13 Interdependenzen der Methode „5S“

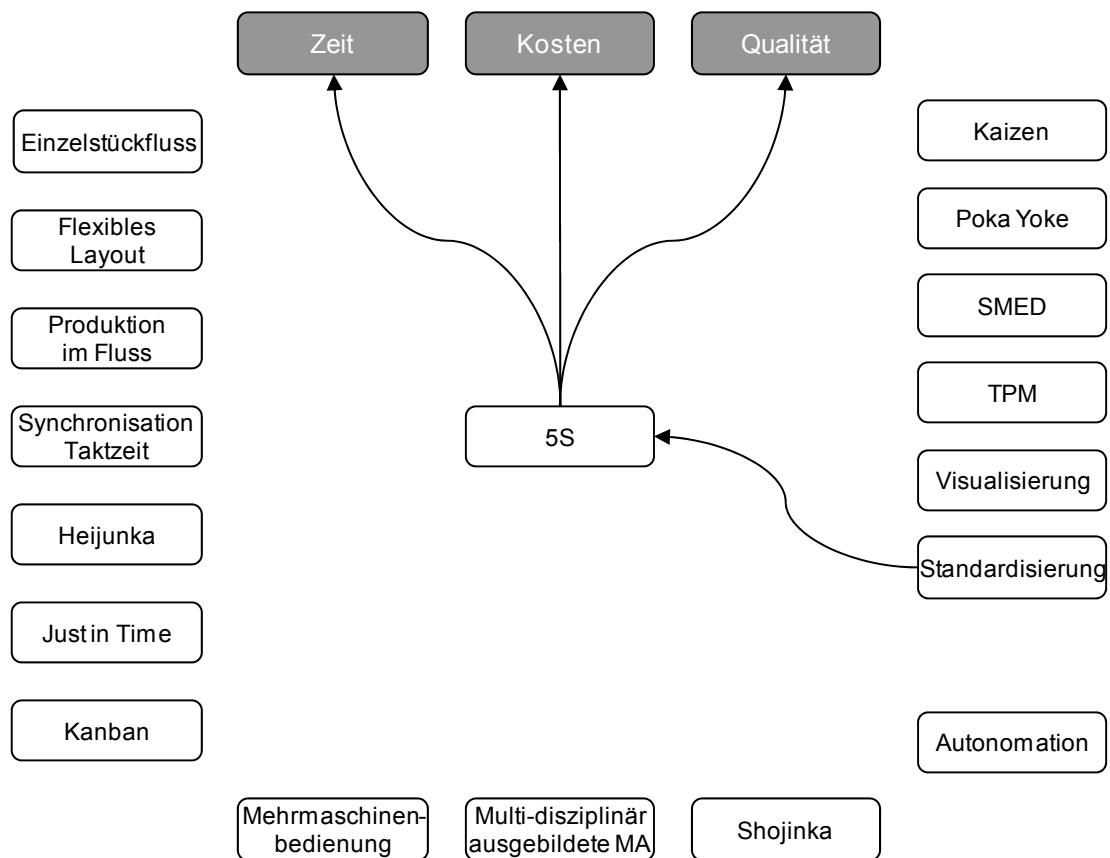


Abbildung 56: Interdependenzen der Methode „5S“

#### Verbindung zu „Standardisierung“:

Die Methode 5S ist in Ihrer Struktur auf Standardisierung ausgelegt. Jeder einzelne Schritt dient der Standardisierung von Arbeitsplätzen. Nicht nur die Methode jedoch basiert auf Standards, sondern auch die Überprüfung der Methodenutzung ist für eine nachhaltige Umsetzung von 5S zu standardisieren. Um dies zu gewährleisten, müssen die Umsetzung und die Kontrollen nach standardisierten Abläufen durchgeführt werden (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 140, S. 246).

#### Auswirkung von „5S“ auf „Zeit“, „Kosten“ und „Qualität“

Nach Takeda und Meynert ist 5S die Grundlage eines jeden Produktionssystems und hat positiven Einfluss auf die produzierte Qualität. Die Auswirkungen von 5S beschreibt er über eine Negativabgrenzung: „Es gibt viel Sucharbeit, es wird viel gestapelt, man stolpert über herumliegende Gegenstände, es entstehen Schlagkerben“ (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 31).

## 5 Interdependenzen von Lean-Production-Methoden und Zielgrößen

An einem aufgeräumten und saubereren Arbeitsplatz hingegen erzielen Mitarbeiter Arbeitserfolge durch eine bessere Montage- und Fertigungsqualität. Insgesamt betrachtet bedeutet die Nutzung der Methode 5S eine geringere Anzahl an Ausschuss, schnellere Prozesse und damit weniger Verschwendung. Durch z.B. verringerte Suchaufwände kann auch eine höhere Produktivität mit 5S erzielt werden.

### 5.2.14 Interdependenzen der Methode „Standardisierung“

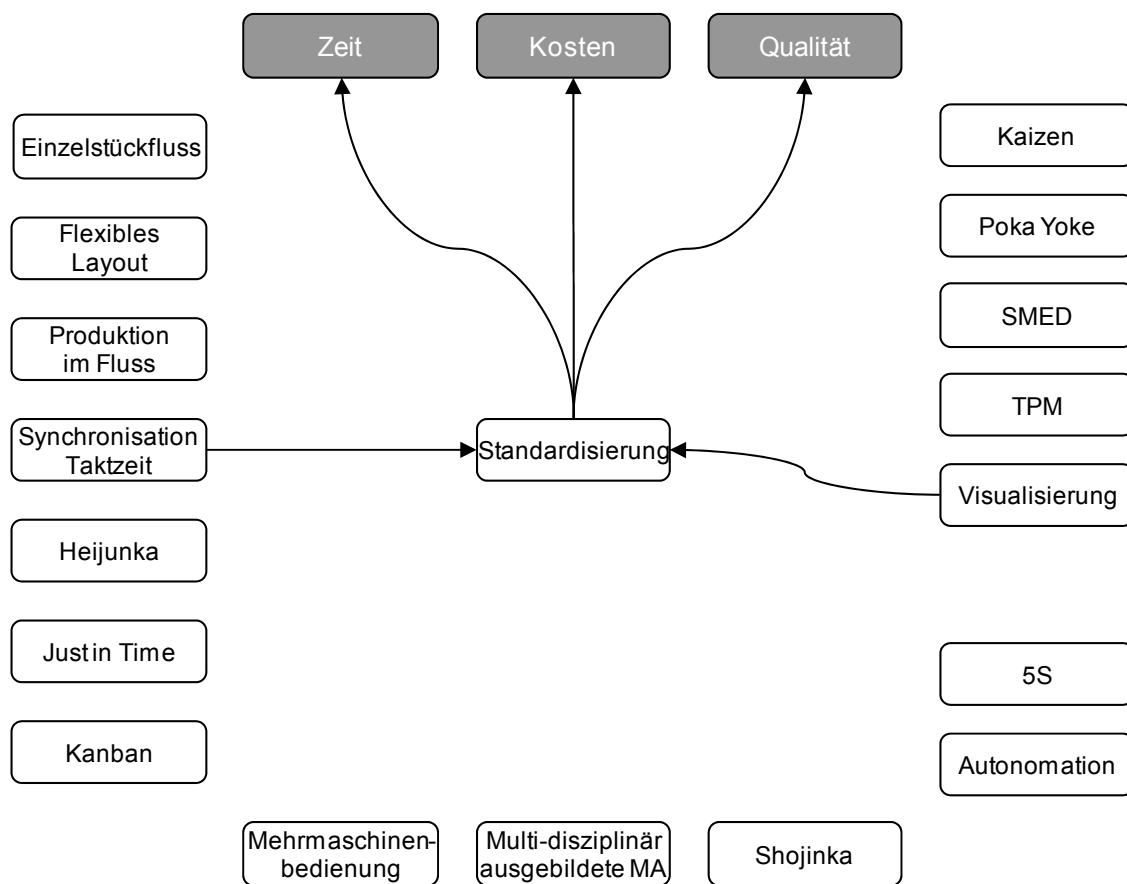


Abbildung 57: Interdependenzen der Methode „Standardisierung“

#### Verbindung zu „Synchronisation“

Für Takeda wird durch die Produktion in einer definierten Taktzeit der zeitliche Rahmen für die Standardisierung der Arbeiten gesetzt (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 249). Eine Tätigkeit für einen Mitarbeiter sollte zeitlich immer innerhalb der Taktzeit liegen, da er sonst in den nächsten Takt hinein arbeiten muss. Daher wird durch die Taktzeit die maximale Dauer von einzelnen standardisierten Tätigkeiten vorgegeben.



### **Verbindung zu „Visualisierung“**

Standardisierte Arbeitsabläufe müssen für den Mitarbeiter am Montageband verständlich dokumentiert sein. Dies wird häufig durch eine geeignete Visualisierung der Standards direkt am Arbeitsplatz erreicht. Eine solche Visualisierung von Arbeitsprozessen dient mehreren Zielen. Zum einen ist sie Anleitung für den Werker, dem der Ablauf am Arbeitsplatz transparent und leicht verständlich vorgegeben wird. Zum anderen dient sie den Führungskräften zur Überprüfung, ob die Werker sich an die gemeinsam definierten Prozesse halten und nach diesen arbeiten. Des Weiteren ist die Visualisierung als der dokumentierte Standard die Basis für die nächste Verbesserung im Sinne des Kaizen (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 140).

### **Auswirkungen der Methode „Standardisierung“ auf „Zeit“, „Kosten“ und „Qualität“**

Standardisierte Arbeit ist die Grundlage für transparente und stabile Prozesse. Damit ist sie ein Fundament für die Produktion mit kontinuierlich hoher Qualität. Standardisierung ermöglicht *„die kritische Analyse jedes Arbeitsschrittes im Hinblick auf Ergonomie und Arbeitssicherheit, Qualität, Produktivität und Kostennutzen“* (OELTJENBRUNS 2000, S. 29).

### 5.2.15 Interdependenzen der Methode „Visualisierung“

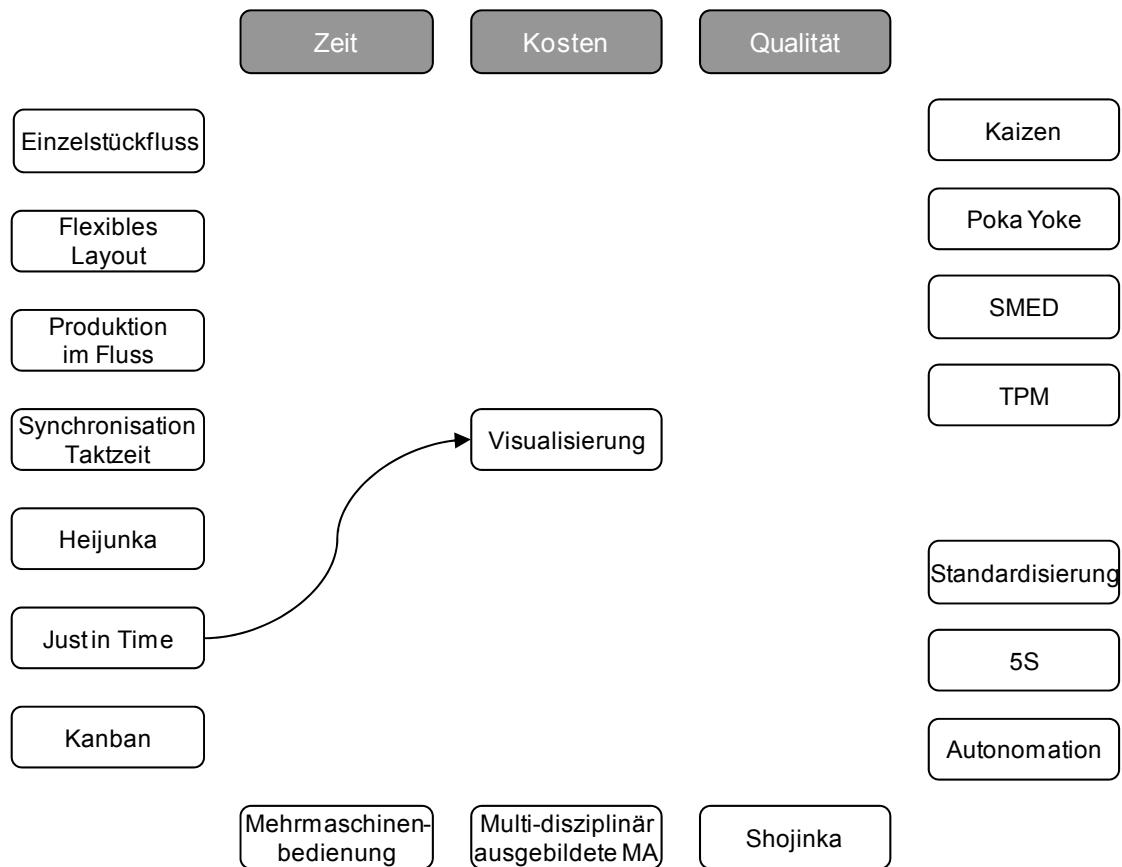


Abbildung 58: Interdependenzen zur Methode „Visualisierung“

#### Verbindung zu „Just in Time“

Die Methode JiT ist auf fehlerfreie Bauteile angewiesen und ermöglicht eine bestandsarme und verschwendungsfreie Verkettung von Arbeitsprozessen. Wenn keine Störungen vorliegen, dann zeigen Visualisierungen auch keine Abweichungen. Bei Fehlern im JiT-Ablauf jedoch wird jede Abweichung angezeigt. JiT zeigt also auf, an welchen vorgelagerten Stationen bspw. Qualitätsmängel an Bauteilen offensichtlich werden, indem sie zu einem Bandstopp führen.

*„Durch Just in Time (wird) visuelle Kontrolle möglich“ (OHNO 1993, S. 69 ff.).*

Eine direkte Auswirkung von Visualisierung auf Zeit, Kosten und Qualität lässt sich logisch nicht herleiten. Durch das alleinige Visualisieren von Sachverhalten verändern sich noch keine Kennzahlen. Eine entsprechende Verbindung oder ein Einfluss lässt sich auch in der Literatur nicht finden.

### 5.2.16 Interdependenzen der Methode „TPM“

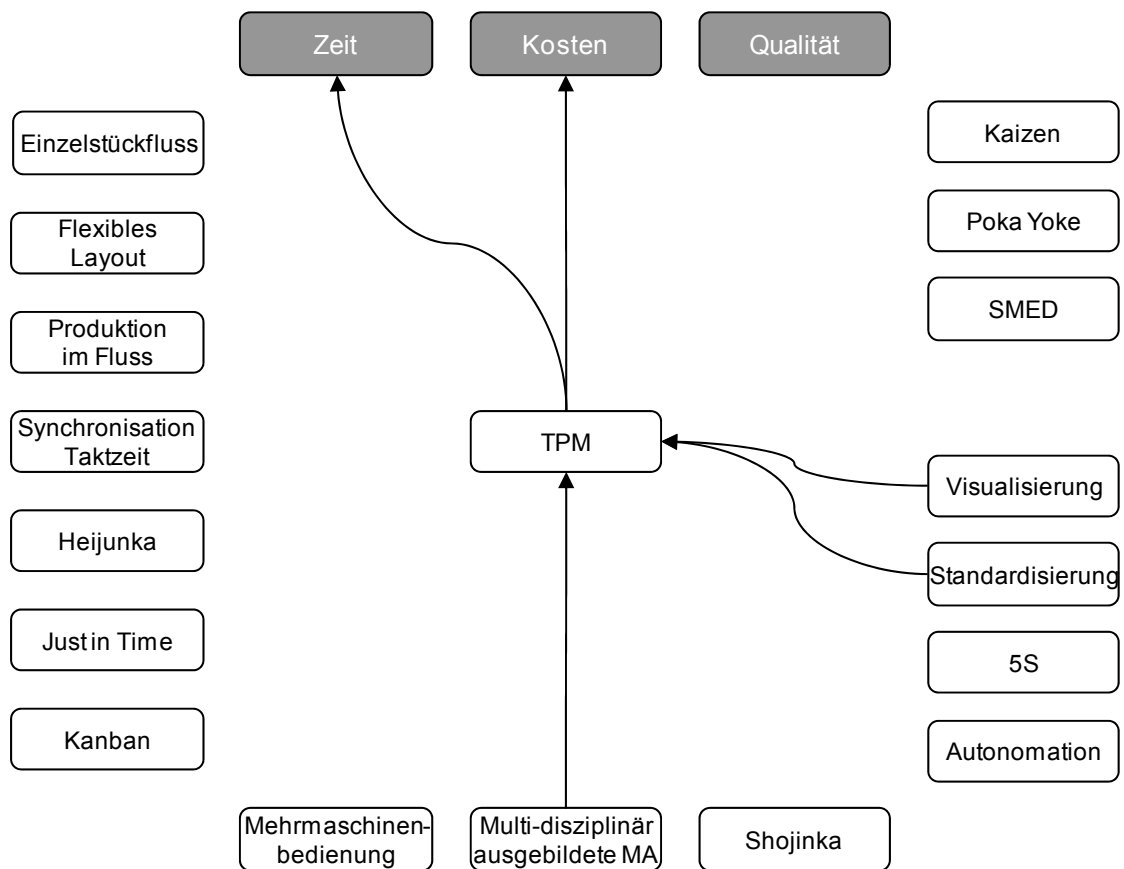


Abbildung 59: Interdependenzen zur Methode TPM - Total Productive Maintenance“

#### Verbindung zu „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter tragen durch ihre überdurchschnittliche Qualifikation besonders zu Methoden wie TPM bei, da sie sehr erfahren sind und häufig aus eigenem Antrieb nach Fehlern im Prozess suchen (OELTJENBRUNS 2000, S. 64).

#### Verbindung zu „Standardisierung“

Die Struktur des TPM-Prozesses beruht darauf, dass die Aktivitäten in einem standardisierten Rahmen, nach einem festen Ablauf und in definierten Intervallen durchgeführt werden. Diese Abläufe zur Wartung der Maschinen und Anlagen sind das Ergebnis konsequenter Standardisierungsarbeit (OELTJENBRUNS 2000, S. 64 und S. 150).

### Verbindung zu „Visualisierung“

Die TPM-Maßnahmen werden durch intensive Visualisierungsmaßnahmen unterstützt, wie die Darstellung der definierten Instandhaltungstermine und -aufgaben. Ebenso werden die Bauteile der Maschine gekennzeichnet, die in bestimmten Abständen zu warten sind, um den Instandhalter zu unterstützen.

### Auswirkung der Methode TPM auf die Zielgrößen „Zeit“ und „Kosten“

Die Durchführung von TPM-Maßnahmen reduziert die ungeplanten Ausfälle von Maschinen und Anlagen, was einen positiven Einfluss auf die Einhaltung der Lieferzeiten hat. Weiterhin werden durch die vorbeugende Wartung der Maschine ungeplante Ausfälle vermieden, was insgesamt geringere Kosten verursacht (LJUNGBERG 1998, S. 495).

### 5.2.17 Interdependenzen der Methode „SMED - Verkürzung der Rüstzeiten“

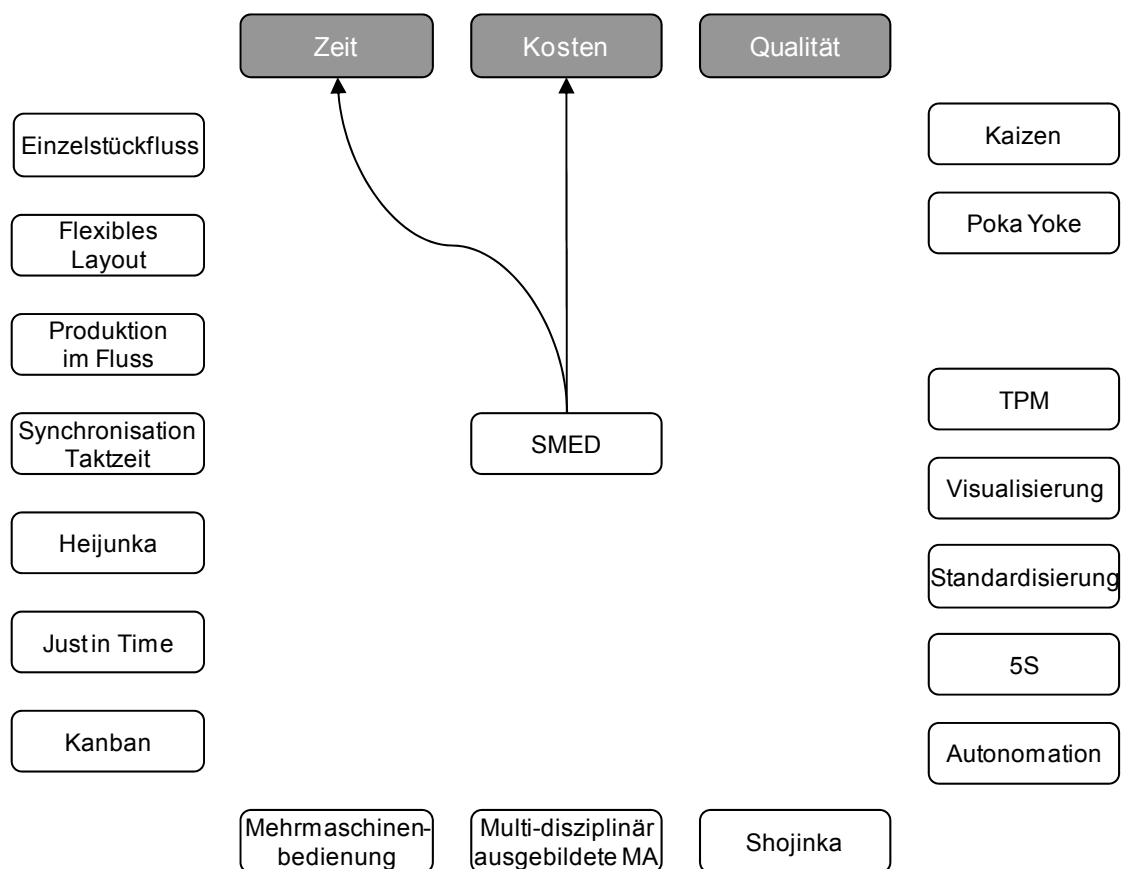


Abbildung 60: Interdependenzen der Methode „SMED - Verkürzung der Rüstzeiten“

### **Auswirkung der Methode „SMED - Verkürzung der Rüstzeiten“ auf die Zielgrößen „Zeit“ und „Kosten“**

Wenn in einer nicht nivellierten Losfertigung mit einer hohen Losgröße in Bestände hinein produziert wird, so sind nur wenige Rüstvorgänge durchzuführen. In solchen Strukturen finden die Rüstzeiten aufgrund ihres geringen Zeitanteils an der Gesamtdurchlaufzeit keine Beachtung. Mit der Einführung der Methoden *Produktionsnivellierung* und *Einzelstückfluss* jedoch steigt die Bedeutung der Rüstzeiten in Bezug auf die Durchlaufzeit immens an, da nun sogar nach jedem abgeschlossenen Prozess erneut zu rüsten ist. Zur Lösung genau dieses Problems hat Shingo bei Toyota die Methode SMED entwickelt und eingeführt. Die Anwendung von SMED zur Verkürzung der Rüstzeiten wirkt sich signifikant auf die Gesamtdurchlaufzeit aus (SHINGO 1989, S. 113).

Neben der Durchlaufzeitreduktion ist ein weiterer Effekt der Methode SMED die Erhöhung der Maschinenauslastung. Durch die Umwandlung interner Rüstvorgänge in externe Rüstvorgänge und deren anschließender Minimierung werden die Maschinenstillstände aufgrund von Rüstvorgängen erheblich verkürzt. Nach Shingo konnten Werkzeugwechselzeiten von drei Stunden auf drei Minuten reduziert werden (SHINGO 1989, S. 107). Durch geringere Rüstzeiten benötigen Maschinen und Anlagen ebenso eine weniger aufwendige Entkopplung durch Pufferbestände was sich positiv in Bezug auf die Lagerhaltungskosten bemerkbar macht (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 156).

### 5.2.18 Interdependenzen der Methode „Poka Yoke“

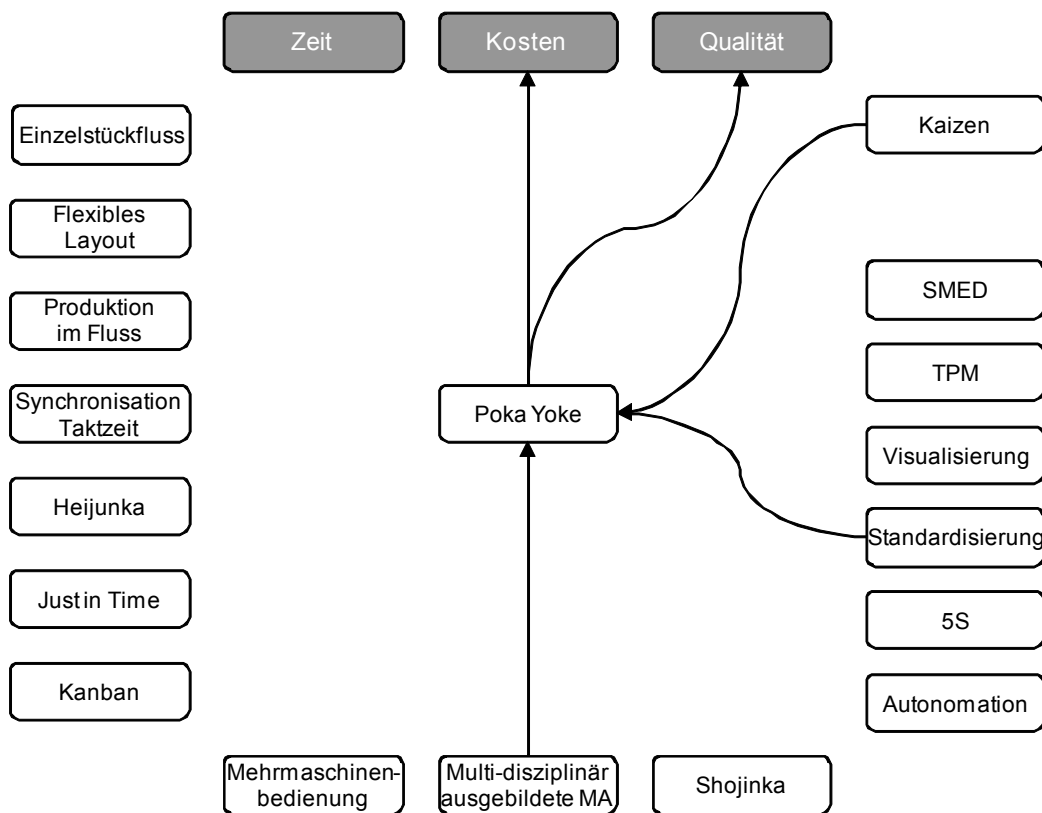


Abbildung 61: Interdependenzen der Methode „Poka Yoke“

#### Verbindung zu „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter haben durch ihren Einsatz an verschiedenen Maschinen und Anlagen und damit der Durchführung verschiedener Prozesse einen größeren Erfahrungsschatz. So ist es ihnen möglich, Anregungen aus anderen Bereichen aufzugreifen und für mögliche Poka-Yoke-Lösungen zu nutzen. Daher unterstützen sie die Entwicklung neuer Lösungen (DENNIS 2002, S. 50).

#### Verbindung zu „Standardisierung“

Poka Yokes werden im TPS durch Standards abgesichert. So können Poka Yokes leichter in anderen Bereichen angewendet werden, zum anderen aber auch kontrolliert und nachvollziehbar angepasst werden (LIKER 2004, S. 133).

### **Verbindung zu „Kaizen“**

Ziel von Kaizen ist die Identifikation und Behebung von Problemen im Produktionsablauf. Hierbei ist für qualitätsrelevante Prozesse, die mit einer geringen Prozessfähigkeit ablaufen, auch auf die Methode *Poka Yoke* zurückzugreifen. Durch die Implementierung einer Poka-Yoke-Einrichtung an der richtigen Stelle im Prozessablauf kann ein instabiler Prozess oft mit wenig Aufwand stabilisiert werden, was sich auch in einer besseren Qualität und geringerer Störungsanzahl ausdrückt (OELTJENBRUNS 2000; S. 83).

### **Auswirkung von „Poka Yoke“ auf die Zielgrößen „Qualität“ und „Kosten“**

Bei der Nutzung von Poka Yokes werden bei Anomalitäten im Prozess die Produkte nicht an den Folgeprozess weitergegeben, was einen direkten positiven Einfluss auf die produzierte Qualität hat. Ein Poka Yoke bedeutet immer eine automatische 100%-Prüfung zur Realisierung des Null-Fehler-Prinzips. Es sei darauf hingewiesen, dass ein Poka Yoke immer nur bestimmte Funktionen oder Prozesse abprüfen kann und nicht die 100%-Prüfung eines gesamten Produktes sicherstellt. Poka Yoke ist der Schlüsselbegriff für Qualität im Prozess (SHINGO 1989, S. 21 ff.; OELTJENBRUNS 2000, S. 183; TAKEDA 1996, S. 138).

Durch die Reduktion der Zahl fehlerhafter Produkte werden die Produktionskosten gesenkt. Takeda weist jedoch darauf hin, dass Poka Yokes nur ein Zwischenschritt auf dem Weg zu einem fehlerfrei produzierten Produkt sind, da sie keinen Einfluss auf die Qualität des Produktionsprozesses haben, sondern nur die Weitergabe defekter Teile verhindern (TAKEDA 1996, S. 140).

### 5.2.19 Interdependenzen der Methode „Kaizen“

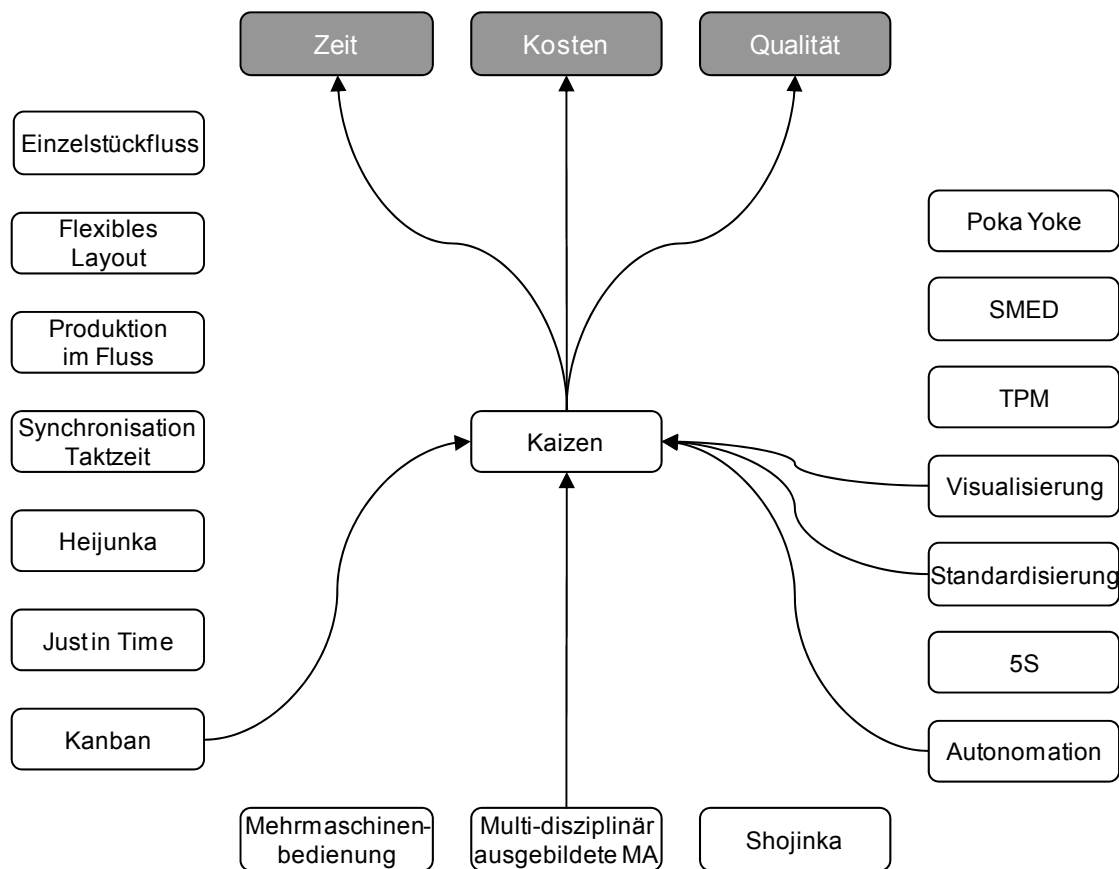


Abbildung 62: Interdependenzen der Methode „Kaizen“

#### Verbindung zu „Kanban“

Ein optimal ausgelegter Kanban-Kreislauf kommt mit einem Minimum an Beständen aus. Dadurch wird er jedoch anfälliger gegenüber Störungen. Um mögliche Störungsquellen zu identifizieren, kann das Kanban-System genutzt werden. Optimierungsbedürftige Prozesse werden identifiziert, indem durch die Absenkung von Beständen erste Störungen im Prozess auftreten. Diese sind sofort in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess aufzunehmen. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess ist damit ein Bestandteil des Kanban-Systems, der durch Störungsbeseitigung für eine kontinuierliche Bestandssenkung sorgt. Damit sind die beiden Methoden *Kanban* und *Kaizen* in Kombination eine effektive Methode zur Stabilisierung der Produktion (OHNO 1993, S. 70).

#### Verbindung zu „Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

Kaizen ist eine Methode zur kontinuierlichen Verbesserung, die auf Ideen von Mitarbeitern angewiesen ist. Die Mitarbeiter sind es, die, in der Ausführung der



täglichen Prozesse, Verschwendungen erkennen und an Verbesserungen mit Nutzung der Methode Kaizen arbeiten. Die Erfahrung zeigt, dass Mitarbeiter, die über einen langen Zeitraum die gleichen Arbeitsprozesse durchführen, eine sogenannte Betriebsblindheit entwickeln. Um Flexibilität in der Mitarbeiter-Prozess-Zuordnung zu erlangen, wird Job-Rotation angewendet, indem die Mitarbeiter immer an verschiedenen Prozessen eingesetzt werden, um Prozesswissen neu zu erlernen oder zu festigen. Dadurch wird der Erfahrungsbereich der Mitarbeiter vergrößert und es werden durch die Mitarbeiter mehr und innovativere Ideen entwickelt, die in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess einfließen (MONDEN 1998, S. 171).

### **Verbindung zu „Automation“**

Automation basiert auf dem Prinzip, Fehler sofort am Ort der Entstehung zu detektieren. Damit kann die Übertragung des Fehlers auf andere Prozesse verhindert werden und die Ursachenanalyse gestaltet sich leichter, da der Prozess, in dem der Fehler auftritt, bekannt ist. Automation ist so eine Quelle von Verbesserungspotentialen, deren Entstehungsort bereits bekannt ist. Diese Potentiale können in Kaizens zielgerichtet gehoben werden. Automation unterstützt daher den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (OELTJENBRUNS 2000, S. 46).

### **Verbindung zu „Standardisierung“**

Standardisierung ist Bestandteil des Kaizen-Prozesses. Bei der Durchführung von Verbesserungsworkshops wird das zu lösende Problem intensiv und detailliert beschrieben und analysiert. Die nachfolgende Problemlösung wird ebenso darauf aufbauen dokumentiert. Um die Problemlösung nun in Form neuer Prozesse bei den Werkern einzuführen, muss diese als Standard definiert und behandelt werden (vgl. DENNIS 2002, S. 50). Wenn die Werker nach einem Standard arbeiten gilt generell, dass über *„permanentes Durchdenken der Abläufe (...) kontinuierliche Verbesserung (Kaizen) erreicht“* wird (SHINGO 1993, S. 262).

### **Verbindung zu „Visualisierung“**

Durch visuelles Management stehen allen Prozessbeteiligten die benötigten Kennzahlen und Zustände in der Produktion zur Verfügung. Auf diese Art und Weise entsteht Transparenz in Prozessen. Diese wiederum dient der schnellen Identifikation von Schwachstellen in der Produktion, die als Verbesserungspotential in kontinuierliche Verbesserungsprozesse einfließen (OELTJENBRUNS 2000, S. 50).

### **Auswirkungen der Methode „Kaizen“ auf die Zielgrößen „Zeit“, „Kosten“ und „Qualität“**

In Kaizen-Workshops werden die Ideen der Mitarbeiter des ganzen Unternehmens besprochen und hierzu Lösungen entwickelt, um Prozesse und Operationen zu verbessern und dadurch Verschwendungen zu eliminieren. Die Umsetzung der gefundenen Lösungen trägt zur Verkürzung von Durchlaufzeiten (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 71) und generell zur Vermeidung von Verschwendung bei (MONDEN 1998, S. 186).

#### **5.2.20 Zusammenfassung der Literaturrecherche**

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde die bestehende Literatur zur Implementierung von Lean Production umfassend auf Aussagen hinsichtlich der Interdependenzen der in Abschnitt 3.2 beschriebenen 18 Lean-Production-Methoden untersucht und ausgewertet. Das Ergebnis ist eine Zusammenstellung der in der Literatur benannten Interdependenzen. Es sind dabei vor allem voraussetzende Interdependenzen beschrieben und erläutert. Voraussetzend ist eine Interdependenz, wenn die Wirksamkeit einer Methode stark oder gänzlich von der bereits vollzogenen Implementierung einer anderen Methode abhängt. Die Autoren in der Fachliteratur weisen darauf hin, dass eine nicht holistische Einführung von Lean-Production-Methoden i.d.R. nicht erfolgreich sein kann.

Die Verzahnung der Methoden untereinander ist der bereits von Takeda beschriebene Grund dafür, dass das Toyota-Produktionssystem nur in holistischer Weise in westlichen Unternehmen erfolgreich einzuführen ist (TAKEDA & MEYNERT 2004, S. 239). Die Selektion von nur einigen Methoden zur Implementierung kann nicht erfolgreich sein. Die große Anzahl der erkannten Interdependenzen bereitet die Grundlage für fundierte, zukünftige Implementierungspläne für Lean Production in traditionell organisierten Produktionsstätten. Aus Wirkverknüpfungen, die Voraussetzungen beschreiben, können zeitliche Implementierungsreihenfolgen abgeleitet werden. Die Gesamtübersicht über die Interdependenzen sind in Abbildung 63 dargestellt.

Die Matrix ist folgendermaßen zu lesen: Bei der Einführung einer Methode in einer Spalte ist es Voraussetzung oder unterstützend, zuerst die Methode in der Zeile zu implementieren. Z.B. wirkt es unterstützend für die Implementierung eines Einzelstückflusses, zuerst Produktion im Fluss eingeführt zu haben.



### 5.3 Experteninterview - Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden

Im Rahmen der Erforschung von Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden und deren Auswirkungen auf Kennzahlen wurden aufbauend auf der in Abschnitt 5.2 erläuterten Literaturrecherche Experteninterviews geführt. Diese waren auf Basis einer vorher versendeten Einflussmatrix mündlich als sogenanntes leitfadengestütztes Interview konzipiert. Ziel der Experteninterviews war es, das in der Literatur gefundene Wissen durch Experten aus der Praxis zu verifizieren und zu erweitern. Das Ergebnis ist eine im Vergleich zur Literaturrecherche umfangreichere Basis an Interdependenzen für die Modellerstellung. Damit fußt das zu erstellende Simulationsmodell auf einem überindividuell anerkannten Wissensbestand, der in einer gemeinsamen Einflussmatrix zusammengefasst ist, die die Wissensbasis für das Modell bildet.

Die ausgewählten Experten sind alle mit der Einführung von Lean Production in produzierenden Unternehmen an verantwortlicher Stelle betraut und schöpfen ihr Expertenwissen aus der direkten Anwendung von Lean-Production-Methoden. Ebenso wurden Experten befragt, die sich im Rahmen angewandter Forschung mit der Implementierung von schlanken Produktionssystemen beschäftigen. Der Prozess zur Generierung der gewichteten Interdependenzliste im Rahmen von Experteninterviews ist in Abbildung 64 veranschaulicht.

Schritt 1: Zuerst wurde die Literaturrecherche zu den Interdependenzen von Lean-Production-Methoden durchgeführt (vgl. Abschnitt 5.2) und in einer Interdependenzmatrix abgelegt (Abbildung 63).

Schritt 2a: Danach wurde den Experten zur Vorbereitung auf das Interview eine leere Interdependenzmatrix zugestellt und von diesen befüllt. Das Ergebnis wurde im Einzelgespräch mit den Experten hinterfragt und ergänzt.

Schritt 2b: Im Anschluss an die erste Runde der Experteninterviews wurde mit jedem Experten ein zweites Interview durchgeführt, in dem sein Expertenergebnis mit der Literaturrecherche verglichen und bei Bedarf die Interdependenzmatrix entsprechend verändert wurde.

Schritt 3: Als Ergebnis der zweiten Befragungsrunde lagen neben der Literaturrecherche Experteninterviews vor, die zusammengefasst wurden. So entstand eine Interdependenzmatrix, die die Ergebnisse der Literaturrecherche und die Ergebnisse aller Experteninterviews enthielt. Diese Matrix wurde in einem dritten Befragungsschritt jedem Experten vorgelegt und mit seinem eigenen Ergeb-

nis des zweiten Befragungsschrittes verglichen und entsprechend angepasst. Ergebnis dieses iterativen dritten Befragungsschrittes im Stil einer Delphi-Umfrage ist eine Interdependenzmatrix, die das Ergebnis der Literaturrecherche sowie das gesamte abgestimmte Expertenwissen enthält.

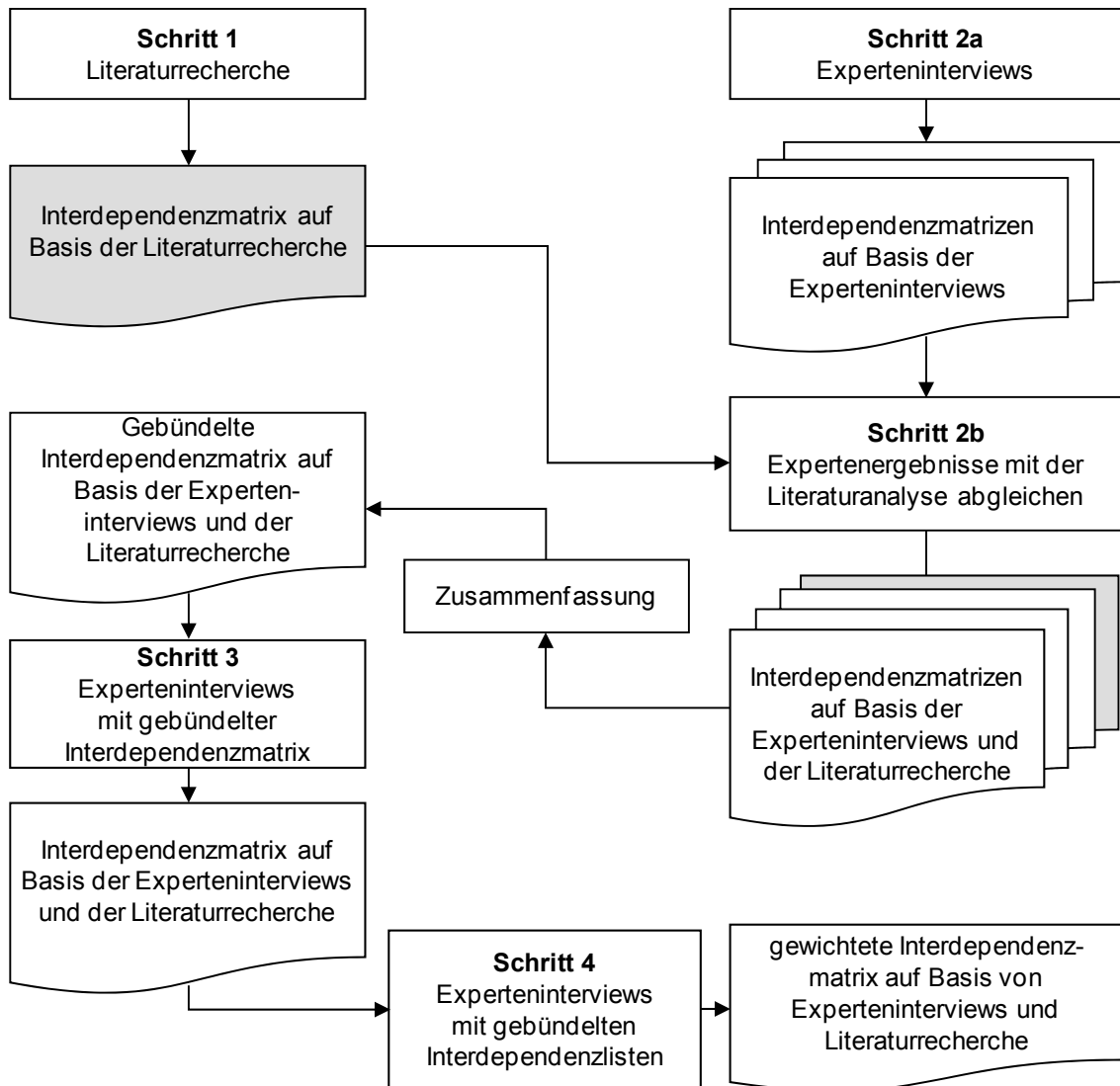


Abbildung 64: Vorgehensweise bei der Durchführung der Experteninterviews zur Generierung einer gewichteten Interdependenzliste

Schritt 4: Im vierten und letzten Schritt der Experteninterviews wurde von jedem Experten eine Gewichtung der Interdependenzen vorgenommen, die wiederum iterativ im Stil einer Delphi-Umfrage revidiert und qualitativ verbessert wurde. Das Ergebnis der Expertenbefragung ist die in Abbildung 65 vorgelegte gewichtete Interdependenzmatrix, die analog zur Interdependenzmatrix in Abbildung 63 zu lesen ist.



Unterschiede zwischen dem Ergebnis der Literaturrecherche und der darauf aufbauenden Expertenanalyse sind die Einteilung der Beeinflussung in unterstützende Beeinflussung (in Abbildung 65 dargestellt mit einem „u“) und voraussetzende Beeinflussung (in Abbildung 65 dargestellt mit einem „v“) sowie die Gewichtung bezüglich des Einflusses einer Methode auf eine andere im Vergleich zu einer weiteren beeinflussenden Methode (in Abbildung 65 dargestellt mit „1, 2 oder 3 für einfache, doppelte oder dreifache Beeinflussung). Wenn eine voraussetzende Interdependenz vorliegt, dann kann die abhängige Methode ihre volle Wirksamkeit erst dann entfalten, wenn die voraussetzende Methode implementiert ist. Im Unterschied dazu ist für die Wirksamkeit einer Methode die vorherige Implementierung der als unterstützend definierten Methoden nicht notwendig. Die Gewichtung der Methoden berücksichtigt unterschiedlich starke Beziehungen zwischen den Methoden. So lässt sich mit der Zuweisung unterschiedlicher Interdependenzintensitäten eine weitere Einflusskomponente im Simulationsmodell hinterlegen.

## **5.4 Zwischenfazit**

Das Kapitel 5 beschreibt die Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden und die Auswirkungen einer Methodenimplementierung auf Zielgrößen. Hierzu wurde zuerst ein Zielsystem definiert, das die Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität beinhaltet.

Die Interdependenzen zwischen den Lean-Production-Methoden wurden auf Basis einer Literaturanalyse dargestellt. Deren Beschreibung ist qualitativ vorgenommen worden, ebenso wie die Beschreibung der Auswirkungen implementierter Methoden auf das Zielsystem. Erstes Ergebnis ist eine Gesamtübersicht über alle Interdependenzen und Auswirkungen auf Zielgrößen in Form einer Matrix.

Auf Basis der erstellten Interdependenzmatrix wurden Experteninterviews durchgeführt. Die Experteninterviews erweiterten die Matrix um zusätzliche Interdependenzen und führten zu einer Unterscheidung in voraussetzende und unterstützende Methoden mit einer Unterstützungsgewichtung je identifizierter Interdependenz.

Das Ergebnis des Kapitels 5 ist eine Interdependenzmatrix von Lean-Production-Methoden in qualitativer Weise und damit die Basis für das zu erstellende Simulationsmodell und die Untersuchungen zur Interdependenzanalyse bei einer Einführung von Lean-Production-Methoden.





## **6 Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden**

### **6.1 Allgemeine Einführung**

#### **6.1.1 Basis eines Simulationsmodells**

Für die Erstellung des Simulationsmodells sind in den vorhergehenden Kapiteln und Abschnitten die Grundlagen zum Verständnis von Systemen und System Dynamics (vgl. Kapitel 2) sowie von Lean Production (vgl. Kapitel 3) gelegt worden. Die bestehenden Ansätze zur Lösung der Frage nach Einführungsstrategien für Lean-Production-Methoden wurden in Kapitel 4 gewürdigt. Auf den Grundlagen von Lean Production aufbauend wurden in Kapitel 5 die Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden mit einer Literaturanalyse und mit Experteninterviews erarbeitet. Diese Erkenntnisse wurden in einer Interdependenzmatrix abgebildet. Vom Grundverständnis von Systemen bis zur Detailanalyse der Interdependenzen definierter Lean-Production-Methoden sind alle Informationen aufgearbeitet und zusammengetragen. Damit ist der für eine Simulationsmodellerstellung benötigte Kenntnisstand erreicht. In Kapitel 6 wird das auf dieser Wissensbasis erstellte Modell vorgestellt sowie dessen Funktionsweise erklärt, um in Kapitel 7 die notwendigen Untersuchungen am Simulationsmodell durchführen und analysieren zu können. Die Modellrealisierung und die Durchführung der Simulationen erfolgte mit der Software POWERSIM.

#### **6.1.2 Anforderungen an das Simulationsmodell**

Das Simulationsmodell zum Vergleich unterschiedlicher Implementierungsstrategien von Lean-Production-Methoden muss folgenden Anforderungen genügen:

##### **Individualität**

Das Modell muss unterschiedliche Unternehmenssituationen als Basis der Simulationen abbilden können. In der Realität sind in vielen Unternehmen bereits Implementierungsanstrengungen unternommen worden und Lean-Production-Methoden in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden. Es muss die Möglichkeit bestehen, diese unterschiedlichen Ausgangssituationen in das Modell zu übernehmen.

### **Unbeschränktheit**

Um mit dem Modell Einblicke in die Struktur der Wirkungszusammenhänge zu erhalten, ist eine weitestgehend restriktionsfreie Simulation sowohl hinsichtlich des zu untersuchenden Implementierungszeitraumes als auch in Bezug auf die leichte Einbindung oder Abkopplung einzelner Lean-Production-Methoden vorzusehen.

### **Berücksichtigung von voraussetzenden Abhängigkeiten**

Um die voraussetzenden Abhängigkeiten im Modell abzubilden, sind Schwellwerte zu definieren, die sicherstellen, dass eine Methode erst dann in einem Simulationslauf implementiert wird, wenn deren vorausgesetzte Methoden im definierten Umfang implementiert sind.

### **Berücksichtigung von Erfahrungs- und Sättigungseffekten**

In der Realität sind bei einer Lean-Production-Implementierung häufig Effekte zu beobachten, die dem Charakter nach Erfahrungs- und Sättigungskurven gleichen. So ist beispielsweise nach einem langsamen Implementierungsstart, bei dem Erfahrung aufgebaut wird, ein schnelles Ausrollen einer Methode über einen großen Bereich einer Fabrik zu erkennen. Mit dem Erreichen eines gewissen Sättigungsgrades verlangsamt sich die Implementierungsgeschwindigkeit erfahrungsgemäß wieder, da zum Ende hin Bereiche in den Fokus rücken, in denen eine Implementierung aufgrund ungünstiger Umstände hinausgeschoben worden ist oder die aufgrund anderer Probleme in der ersten Implementierungswelle unberücksichtigt geblieben sind.

### **Stabile Grundstruktur**

Die Grundstruktur des Modells ist durch die Literaturrecherche und die Experteninterviews vorzugeben und als Basis einer vergleichenden Untersuchung für jeden Simulationslauf grundsätzlich definiert und nicht veränderbar.

## **6.2 Modellbeschreibung**

Mit der Einführung des Systems der Lean Production sollen die Zielgrößen eines Unternehmens positiv beeinflusst werden. In der vorliegenden Arbeit werden als Zielgrößen des Unternehmens *Qualität*, *Zeit* und *Kosten* betrachtet. Es sollte also eine Steigerung der *Qualität* und eine Reduzierung von *Zeit* und *Kosten* erfolgen, letztere häufig vertreten durch die Durchlaufzeit.

Alle drei Zielgrößen sind messbar: *Qualität*, *Zeit* und *Kosten* sind direkt erfassbare Werte bzw. durch in Unternehmen übliche Verfahren ermittelbar (*Kosten* z.B. über die Kostenrechnung). Auf die konkreten Methoden zur Berechnung bzw. Messung der Werte wird in dieser Arbeit nicht eingegangen. Es genügt, dass Möglichkeiten zur quantitativen Erfassung gegeben sind. Für das vorliegende Simulationsmodell werden die Zielgrößen hinsichtlich ihrer prozentualen Veränderung gegenüber dem jeweiligen Ausgangspunkt vor der Einführung betrachtet, d.h. die Einheit ist für alle Zielgrößen in Prozent [%] angegeben.

### 6.3 Modellstruktur für Methoden

In diesem Abschnitt wird der Teilmodellaufbau einer Lean-Production-Methode anhand der Methode Kanban stellvertretend für alle anderen Teilmodelle erläutert. Alle Teilmodelle von Methoden gleichen sich in ihrer Struktur. Jede Methode wird durch ein eigenes Teilmodell repräsentiert, das die jeweiligen Interdependenzen der Methode zu anderen Methoden und zu den Zielgrößen abbildet. Bei allen Teilmodellen handelt es sich um System-Dynamics-Flussdiagramme. Das Teilmodell der Methode *Kanban* eignet sich als Erklärungsobjekt, da es sowohl vorausgesetzte Methoden als auch unterstützende Methoden besitzt und damit die höchste Komplexität der im vorliegenden Modell vorkommenden Teilmodellstrukturen widerspiegelt. In Abbildung 66 ist die strukturelle Beziehung der Methode zu den anderen Lean-Production-Methoden dargestellt. Die Methode *Kanban* ist als Bestandsgröße [%] mit der sie verändernden Flussgröße *Delta Kanban* [%/Jahr] repräsentiert. Der Startwert der Bestandsgröße *Kanban* wird durch die Hilfsvariable *Initialwert Kanban* [%] vorgegeben. Er wird aus einer hinterlegten Tabelle (Tabellenkalkulationsfunktion von Microsoft Excel) vor jedem Simulationslauf eingelesen. Alle die Methode *Kanban* beeinflussenden Methoden sind in Abbildung 66 als Bestandsgrößen [%] unterhalb der betrachteten Bestandsgröße *Kanban* aufgeführt. Jede Methode, die als Voraussetzung für die Methode *Kanban* dient, ist über einen hellen und jede unterstützende Methode über einen dunklen Pfeil mit der Flussgröße *Delta Kanban* verbunden. Die unterhalb der vorausgesetzten Methoden (heller Pfeil) stehenden Konstanten geben den Schwellwert [%] an. Dieser referenziert auf die Höhe der Bestandsgröße der vorausgesetzten Methode und definiert, ab wann die Flussgröße im Simulationslauf die betrachtete Bestandsgröße (hier die Methode *Kanban*) verändern kann. Auch dieser Schwellwert wird vor jedem Simulationslauf aus der Tabelle eingelesen.

## 6 Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden

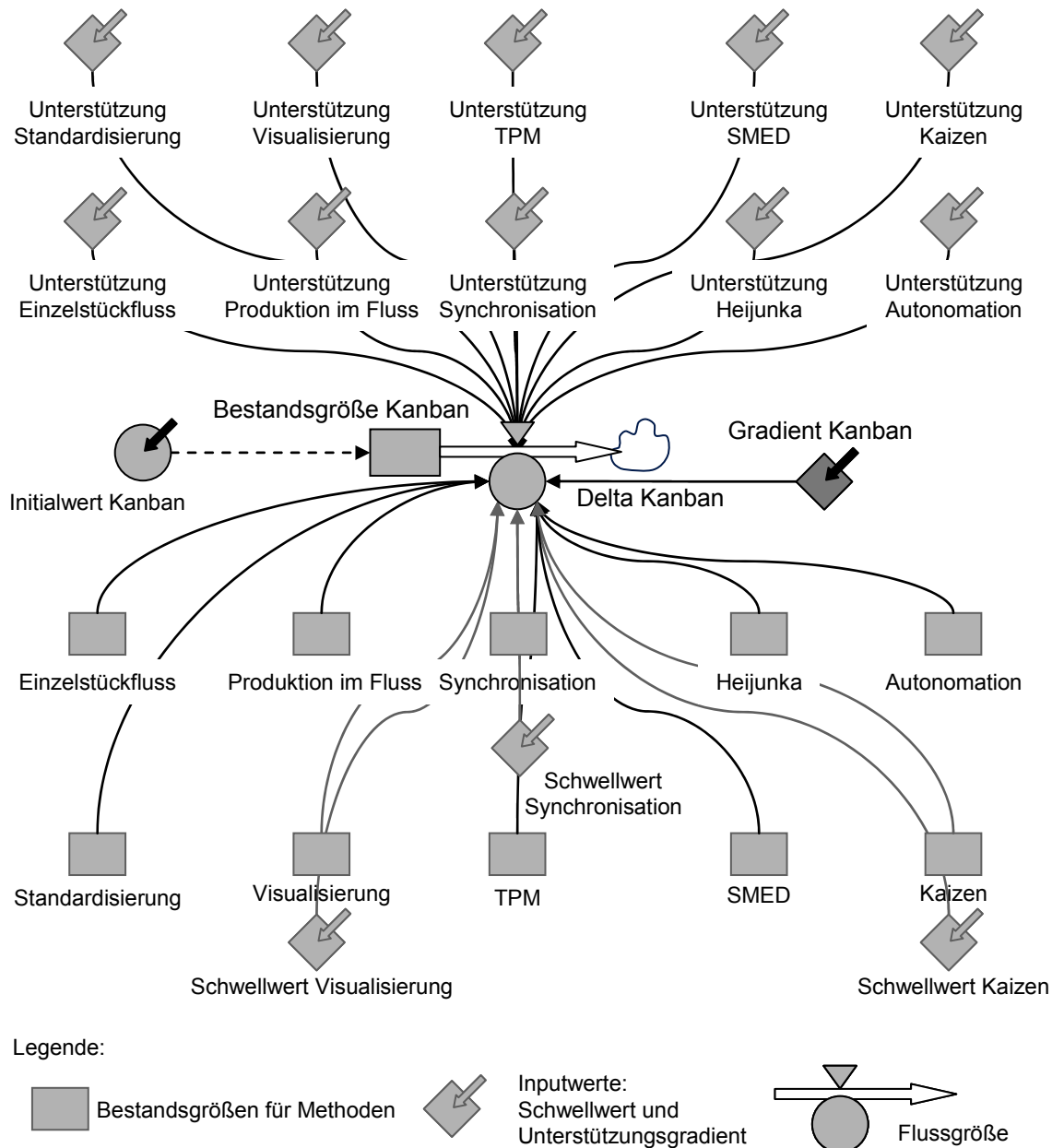


Abbildung 66: Modellaufbau für Methoden am Beispiel der Methode Kanban

Sobald die Schwellwerte aller vorausgesetzten Methoden erreicht sind, wird die Konstante *Gradient Kanban* [%/Jahr] in der Simulation berücksichtigt. Zusätzlich hierzu greifen auch die oberhalb von *Delta Kanban* angeordneten Unterstützungsgradienten durch andere Methoden. Die jeweilige Steigung der Bestandsgröße ist dann abhängig vom *Gradient Kanban* (abhängig vom bereits erreichten Wert) sowie vom jeweils erreichten Wert der unterstützenden Methoden und deren Unterstützungsfaktor. Dieses Beziehungsgeflecht ist in mathematischer Form in *Delta Kanban* hinterlegt. Die entsprechenden Regeln und die sie realisierenden Programmierertexte sind im Anhang verzeichnet.

Eine prinzipielle Beschreibung der Regeln lautet:

„Wenn die Bestandsgrößen aller vorausgesetzten Methoden größer sind als ihr definierter Schwellwert und der Schwellwert der betrachteten Methode selbst, dann greift die Veränderung der Delta-Methode über ihren intervallabhängigen Gradienten zuzüglich der Unterstützung aller ihrer unterstützenden Methoden. Ansonsten ist Delta Methode 0% pro Jahr.“

Diese Regel gilt grundsätzlich für jede Methode. Sie kann jedoch dadurch vereinfacht sein, dass eine Methode keine vorausgesetzten und/oder keine unterstützenden Methoden hat. In diesem Fall fehlt der entsprechende Formelteil.

## 6.4 Modellstruktur für die Veränderung der Zielgrößen

### 6.4.1 Allgemeines

Generell sind die Zielgrößen *Qualität*, *Zeit* und *Kosten* als Bestandsgrößen im Modell abgebildet. Die Veränderung einer Zielgröße ist dann abhängig von der Veränderung der sie beeinflussenden Bestandsgrößen der Lean-Production-Methoden. Hierbei muss mathematisch zwischen der Modellierung der Qualitätssteigerung und der Reduzierung von Zeit und Kosten unterschieden werden.

### 6.4.2 Teilmodell zur Simulation der Qualitätsveränderung

Der prinzipielle Aufbau des Teilmodells zur Abbildung der Veränderung und der Einflüsse auf die Zielgröße *Qualität* entsprechen der in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Vorgehensweise zur Darstellung der Lean-Production-Methoden (vgl. Abschnitt 6.3). Der wesentliche Unterschied zur Modellstruktur der Lean-Production-Methoden liegt im Fehlen von Konstanten bzw. Inputparametern sowie der unterschiedlichen Berechnung der Veränderung der Zielgröße. Zwischen Methoden und Zielgrößen liegt eine proportionale Beziehung vor, d.h. eine Erhöhung der Bestandsgrößen der Methoden führt zu einer Erhöhung der Bestandsgröße *Qualität*, was in der Realität einer Qualitätssteigerung entspricht. Beispielsweise wird durch die Nutzung der Methode Poka Yoke die *Qualität* erhöht. In Abbildung 67 ist der Modellaufbau für das Teilmodell der Veränderung der Zielgröße *Qualität* dargestellt.

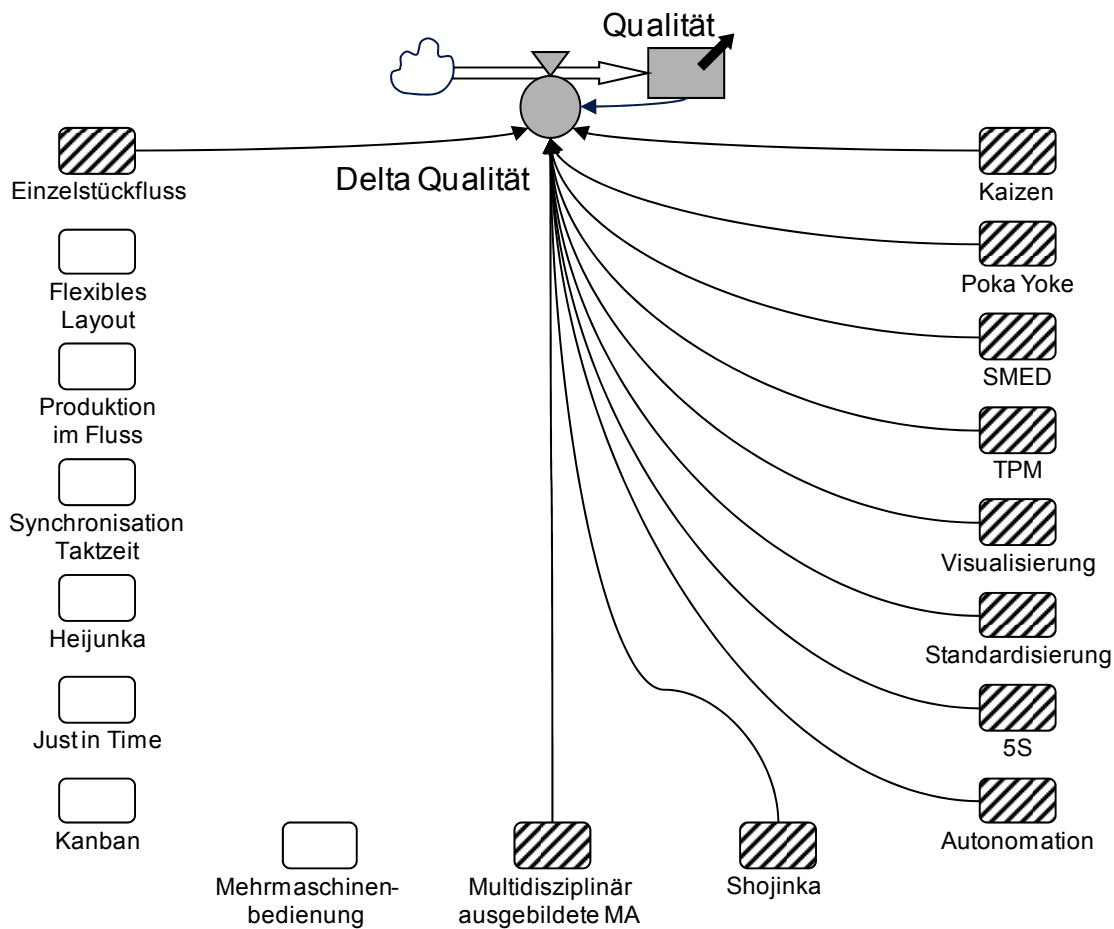


Abbildung 67: Modellaufbau der Zielgröße „Qualität“

Alle die Qualität direkt beeinflussenden Methoden sind als Bestandsgrößen [%], in Abbildung 67 schraffiert visualisiert und mit der Flussgröße *Delta Qualität* [%/Jahr] verbunden, die die Veränderung der Bestandsgröße *Qualität* verursacht. Die jeweiligen Jahresendwerte eines Simulationslaufes der Bestandsgröße *Qualität* werden in eine Tabelle exportiert. Die Rückkopplung von *Qualität* auf *Delta Qualität*, veranschaulicht in Form eines Pfeils, ist notwendig, um die Rückkopplung der bereits erzielten Qualitätsverbesserung auf die weitere Entwicklung der Zielgröße *Qualität* zu simulieren: Je größer die Qualitätsveränderung ist, desto schwieriger kann die nächste Qualitätsveränderung erfolgen. So fließt in die Berechnung der Qualitätsveränderung die Veränderung der Bestandsgrößen von Methoden mit der jeweiligen Steigung des zurückliegenden Simulationsschrittes über die erste Ableitung ein (Syntax: „DERIVN(Methode)“). Die Formeln zur Berechnung der Zielgrößen finden sich im Anhang. Eine prinzipielle Beschreibung dieser Formeln am Beispiel Qualität lautet:

„Die Steigerung der Zielgröße Qualität ist gleich der Summe der Veränderungen aller relevanten Methoden, dividiert durch das bereits erreichte Qualitätsniveau.“

Damit fließt der jeweils erreichte Fortschritt bei der Umsetzung der einzelnen Lean-Production-Methoden, die Einfluss auf die Qualität haben, auch direkt in die Qualitätssteigerung ein. Zusätzlich gibt es einige Methoden, die die Einführung der direkt qualitätswirksamen Methoden unterstützen. Deren Fortschritt fließt indirekt über die Verknüpfung innerhalb der Teilmodelle der jeweils beeinflussten Methoden ein. Da außerdem manche der direkten Methoden wiederum indirekte Methoden unterstützen, kann eine positive Feedback-Loop (vgl. Abschnitt 2.2.6) entstehen. Je nach der Intensität der gegenseitigen Unterstützung der Methoden wirkt sich dieser Effekt unterschiedlich stark aus, i.d.R. bewegt sich jedoch eine positive Rückkopplungsschleife im unteren Prozentbereich und wirkt sich daher nur in Nachkommastellen aus.

### 6.4.3 Teilmodelle zur Simulation der Zielgrößen Zeit und Kosten

Die Modelle zur Berechnung der Auswirkungen auf die Zielgrößen *Zeit* und *Kosten* sind prinzipiell wie das Qualitätsmodell (s. Abbildung 67) aufgebaut. Alle jeweils nach Abschnitt 3.2 relevanten Methoden fließen direkt in die jeweiligen Deltagrößen ein. Der Modellaufbau und die Berechnungsformel von *Zeit* und *Kosten* werden im Folgenden anhand des Teilmodells für die *Zeit* erläutert, das in Abbildung 68 dargestellt ist.

Analog zur Qualität ist auch hier eine Rückkopplung der Zielgröße auf ihre Veränderung vorgesehen. Diese muss jedoch in diesem Fall ein negatives Vorzeichen haben, da die Korrelation zwischen der Bestandsgrößensteigerung einer Methode und der Veränderung der Zielgröße *Zeit* negativ ist. Hierbei ist zusätzlich ein Dämpfungsfaktor notwendig, um die Auswirkungen der Methoden in einem realistischen Bereich zu belassen. Als Dämpfungsfaktor wird die Anzahl der direkt in die jeweilige Zielgröße einfließenden Methoden als Quotient verwendet (bei der Zielgröße *Kosten* 17 Methoden und bei der Zielgröße *Zeit* 16 Methoden).





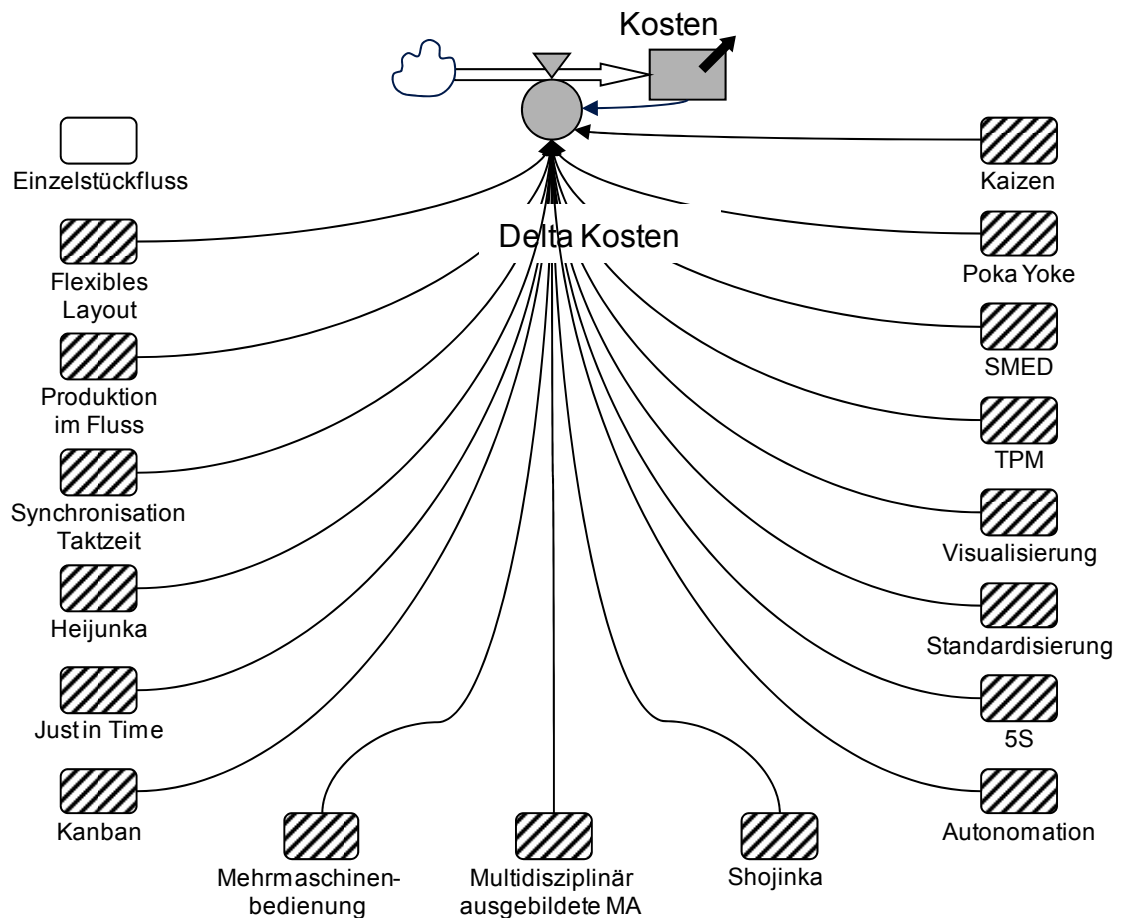


Abbildung 69: Modellaufbau der Zielgröße „Kosten“

## 6.5 Simulationsablauf

Alle Simulationen mit dem in der Software POWERSIM erstellten Modell laufen nach folgendem Muster ab (vgl. Abbildung 70). Zuerst werden die frei wählbaren Parameter (vgl. Abschnitt 6.6) in die Eingabetabelle eingegeben. Nach dem Start eines Simulationslaufes werden dann die eingegebenen Daten in das Simulationsmodell übertragen. Der Start jeder Simulation ist auf den 01.01.2010 gelegt, das Simulationseende auf den 01.01.2020, so dass ein Zeitraum von zehn Jahren simuliert wird. Jedes Simulationsjahr basiert auf einem zwölfmonatigen Kalender mit je 30 Tagen pro Monat. Die Zeitschrittweite der Simulation beträgt einen Tag. Da es sich nicht um eine kontinuierliche Simulation handelt, sondern um eine zeitdiskrete Simulation, müssen alle Werte der im Modell verwendeten Methoden und Zielgrößen für jeden Simulationsschritt angenähert werden. Beim erstellten Modell handelt es sich um ein kontinuierliches dynamisches System, das homogen bezüglich der Zeit ist, das also nicht von seinem Anfangszeitpunkt,

## 6 Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden

aber von seinem Anfangszustand abhängt. Das Modell wird durch gewöhnliche Differentialgleichungen beschrieben. Die Annäherung an die jeweiligen Werte der Größen im Rahmen der Simulationsschrittweite wird über numerische Annäherungsverfahren vorgenommen. Hierfür kann mit der verwendeten Software POWERSIM das Euler-Verfahren (einstufiges Verfahren) oder das Runge-Kutta-Verfahren (mehrstufiges Verfahren) genutzt werden. Für das vorliegende Modell wurde das vierstufige Runge-Kutta Verfahren gewählt, da es genauer ist und die Rechenleistung für das erstellte Modell ausreicht.

So wird ausgehend vom definierten Ausgangszustand für jede Simulationsschrittweite ein angenäherter Wert für alle Größen im Simulationsmodell errechnet, der wiederum jeweils den neuen Ausgangszustand für den folgenden Simulationsschritt darstellt. Am Ende der Simulation sind 30 Tage in je zwölf Monaten in je zehn Jahren simuliert worden. Der 3600te Simulationsschritt ist das vom Modell angezeigte Endergebnis, ergänzt um die Zustände am Ende eines jeden Simulationstages.

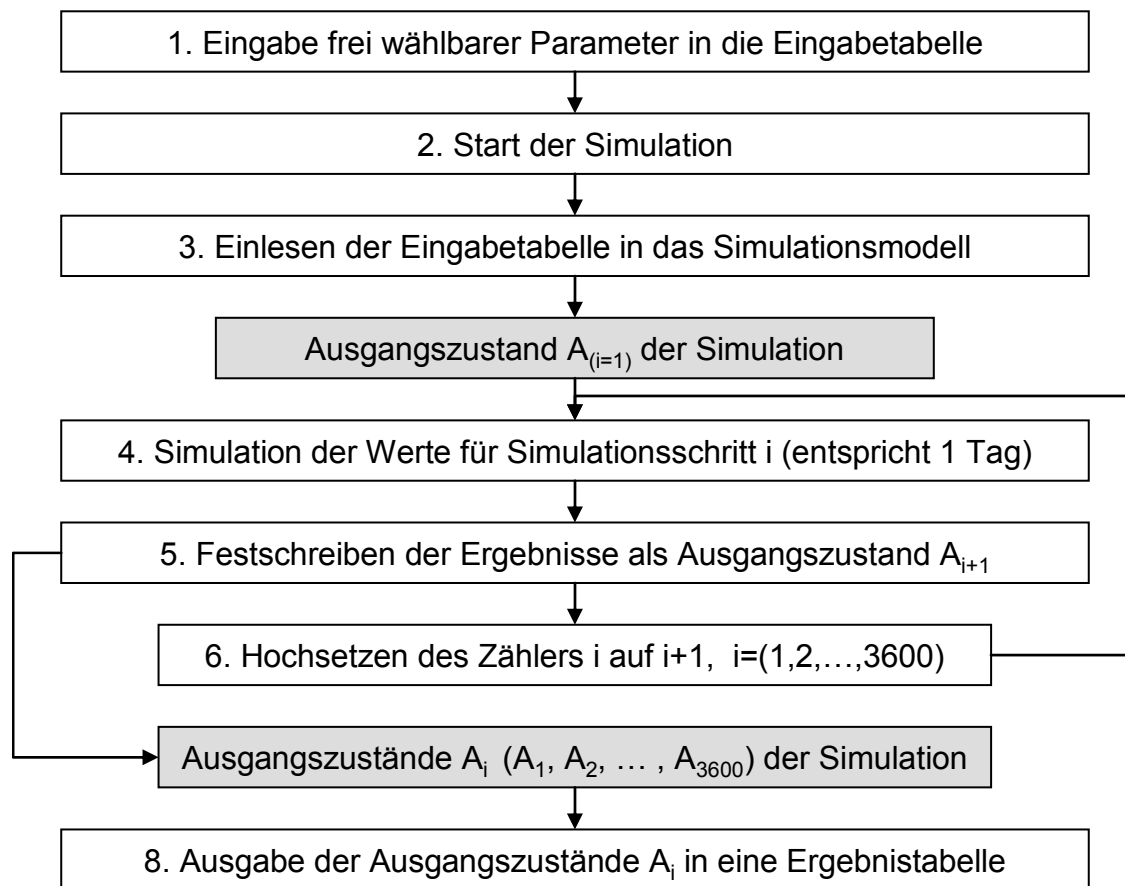


Abbildung 70: Ablauf des Simulationsablaufes dargestellt in einem Flussdiagramm

## 6.6 Parametereinstellungen

Um verschiedene Szenarien simulieren zu können, ist das Modell so aufgebaut, dass über eine Schnittstelle Daten eingelesen und ausgegeben werden können. Vor jedem Simulationslauf werden für jede Methode vier frei wählbare Werte eingelesen (vgl. Tabelle 14).

### **Unterstützungsgradient [%/Jahr]**

Der Wert für den Unterstützungsgradienten einer Methode beschreibt die Unterstützungswirkung in Bezug auf eine andere Methode. Der Unterstützungsgradient repräsentiert Synergieeffekte, die sich durch die Einführung einer Lean-Production-Methode mit einer anderen ergeben. Er wird während des Simulationslaufes nicht geändert. Die Werte für den Unterstützungsgradienten liegen zwischen 0 (keine Unterstützung) und 10 (starke Unterstützung).

### **Schwellwert [%]**

Der Schwellwert für eine Methode bezeichnet, ab welcher Höhe der Bestandsgröße einer Methode deren Unterstützung für alle anderen Methoden wirkt. Er kann vor jedem Simulationslauf verändert werden. Der Schwellwert repräsentiert damit den Zeitpunkt, ab dem eine Methode unterstützend auf eine andere wirkt. Dieser Effekt ist in der Realität häufig zu beobachten. So sind Auswirkungen einer Methode erst nach einer gewissen Implementierungsdauer zu erkennen. Synergie- und Unterstützungseffekte treten damit auch erst nach einer gewissen Dauer auf. Ein die Realität treffender Wert liegt hier erfahrungsgemäß bei ca. 20%. D.h. erst wenn die Methode zu 20% eingeführt ist, kann sie unterstützend auf andere Methoden wirken.

### **Eigener Gradient [%/Jahr]**

Der eigene Gradient beschreibt die Implementierungsintensität, mit der die Methode im Simulationslauf steigen soll. Er repräsentiert die speziell für die Umsetzung dieser Methode durchgeführten Aufwände (z.B. Projektarbeit zur Einführung) im Rahmen einer Lean-Production-Implementierung. Der Wert kann vor jedem Simulationslauf verändert werden. Er wird im Rahmen der Simulation in eine genäherte Sigmoidale (eine Funktion mit S-förmigen Verlauf des Graphen) umgewandelt, d.h. es wird davon ausgegangen, dass die Steigung der Veränderung nach Intervallen gestaffelt erfolgt, basierend auf dem Wert der Bestandsgröße. Hierzu werden im Modell folgende Annahmen getroffen.

## 6 Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden

---

- Wenn der Wert der Bestandsgröße zwischen 0% und 10% liegt oder zwischen 80% und 100%, dann wird die Veränderung der Bestandsgröße mit 0,5 multipliziert.
- Wenn der Wert der Bestandsgröße zwischen 10% und 80% liegt, dann wird die Veränderung der Bestandsgröße mit 2 multipliziert.
- Wenn der Wert der Bestandsgröße 100% beträgt, dann wird die Veränderung der Bestandsgröße mit 0 multipliziert.

### Startwert bei Einführung [%]

Der Startwert bei Einführung, auch Initialwert genannt, repräsentiert die Implementierungsdichte einer Methode im Unternehmen vor der geplanten Lean-Production-Implementierung. Dieser Startwert ermöglicht die Anpassung des Modells an die jeweilige Unternehmenssituation. Der Initialwert ist im Simulationsmodell für jede Lean-Production-Methode als Hilfsvariable definiert, er wird vor dem Simulationslauf als Initialparameter für die jeweilige Bestandsgröße einer Methode eingesetzt und im weiteren Simulationsverlauf nicht mehr benutzt. Der Initialwert kann Werte von 0 (die Methode ist überhaupt nicht eingeführt) bis 100 (die Methode wurde bereits komplett eingeführt) annehmen.

Die vor jedem Simulationslauf eingelesenen Daten sind in Tabelle 14 beispielhaft befüllt. Das Beispiel wird als Simulationslauf I bezeichnet. In diesem Beispiel ist für alle Unterstützungsgredienten der Wert 4%/Jahr gewählt worden und für alle Schwellwerte der Wert 20%/Jahr. Die eigenen Gradienten sind frei gewählt und repräsentieren die Aufwände, mit denen die jeweiligen Methoden im Unternehmen beplant sind. Die Summe der Aufwendungen für die Lean-Production-Methoden beträgt 232%/Jahr. Der Startwert jeder Methode liegt bei 0%. D.h., dass im Unternehmen noch keine der betrachteten Lean-Production-Methoden eingeführt worden sind. Als Ergebnis eines Simulationslaufes ausgegeben werden die jährlichen Simulationseindwerte der Bestandsgrößen *Zeit*, *Kosten* und *Qualität*. Die Ergebnisse einer Simulation über zehn Jahre für die im Simulationslauf I, vgl. Tabelle 14, beispielhaft gewählten Eingangparameter sind in Tabelle 15 dargestellt.

	Unterstützungs- gradient [%/Jahr]	Schwellwert für andere [%]	Eigener Gradient [%/Jahr]	Startwert bei Einführung [%]
Einzelstückfluss	4	20	10	0
Flexibles Layout	4	20	12	0
Produktion im Fluss	4	20	25	0
Synchronisation	4	20	5	0
Produktionsnivellierung	4	20	13	0
Just in Time	4	20	5	0
Kanban	4	20	2	0
Mehrmaschinen- bedienung	4	20	0	0
Multidisziplinär ausgebildete MA	4	20	5	0
Flexibler Mitarbeitereinsatz	4	20	0	0
Autonation	4	20	15	0
5S	4	20	50	0
Standardisierung	4	20	20	0
Visuelles Management	4	20	25	0
TPM	4	20	0	0
SMED	4	20	5	0
Poka Yoke	4	20	15	0
Kaizen	4	20	25	0
Summe			232	

*Tabelle 14: Simulationslauf I - Definition der frei wählbaren Parameter, die vor jedem Simulationslauf in das Simulationsmodell eingelesen werden. Die Werte sind beispielhaft zu verstehen. Die Summe der eigenen Gradienten ist ein Maß für den betriebenen Gesamtaufwand zur Einführung von Lean-Production-Methoden. Für diesen Simulationslauf beträgt die Summe aller eigenen Gradienten 232% / Jahr.*

## 6 Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden

---

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse des Simulationslaufes I dargestellt.

Simulationsmodell - Lean-Production-Methoden			
Einfluss auf Zielgrößen			
	Qualität	Kosten	Zeit
Startwerte	100%	100%	100%
Jahr 1	177%	94%	93%
Jahr 2	242%	86%	85%
Jahr 3	270%	82%	81%
Jahr 4	286%	78%	77%
Jahr 5	299%	75%	73%
Jahr 6	307%	71%	68%
Jahr 7	315%	66%	62%
Jahr 8	325%	62%	55%
Jahr 9	329%	59%	53%
Jahr 10	331%	58%	51%

*Tabelle 15: Auswertung Simulationslauf I - Ergebnisse des Simulationslaufes I, der über zehn Jahre mit den in Tabelle 14 beispielhaft angegebenen Eingangsgrößen lief, als jährliche Ausgabe der Bestandsgrößen Qualität, Kosten und Zeit.*

Demnach würden durch die Realisierung eines solchen Implementierungsplanes nach zehn Jahren die *Qualität* auf 331% gestiegen sein, die *Kosten* und die *Zeit* nach zehn Jahren auf 58% bzw. auf 51% gefallen sein. Diese Endwerte stellen keine Absolutwerte dar, sondern sie dienen als Vergleichswerte in Bezug auf einen weiteren Simulationslauf II mit einem anderen Implementierungsplan. Dieser ist in Tabelle 16 dargestellt. Verändert wurden nur die Werte für den eigenen Gradienten, der den Implementierungsplan abbildet. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, beträgt auch hier die Summe der eigenen Gradienten, also die Darstellung der Gesamtintensität, mit der die einzelnen Methoden eingeführt werden, erneut 232%/Jahr.

	Unterstützungs- gradient [%/Jahr]	Schwellwert für andere [%]	Eigener Gradient [%/Jahr]	Startwert bei Einführung [%]
Einzelstückfluss	4	20	10	0
Flexibles Layout	4	20	10	0
Produktion im Fluss	4	20	10	0
Synchronisation	4	20	10	0
Produktionsnivellierung	4	20	10	0
Just in Time	4	20	10	0
Kanban	4	20	10	0
Mehrmaschinen- bedienung	4	20	0	0
Multidisziplinär ausgebildete MA	4	20	0	0
Flexibler Mitarbeitereinsatz	4	20	0	0
Autonotation	4	20	0	0
5S	4	20	40	0
Standardisierung	4	20	40	0
Visuelles Management	4	20	40	0
TPM	4	20	0	0
SMED	4	20	0	0
Poka Yoke	4	20	0	0
Kaizen	4	20	42	0
Summe			232	

*Tabelle 16: Simulationslauf II - Definition der frei wählbaren Parameter, die vor jedem Simulationslauf in das Simulationsmodell eingelesen werden. Die Werte für die eigenen Gradienten, die einen Implementierungsplan charakterisieren, unterscheiden sich zum Simulationslauf I sehr wohl in der Verteilung auf die einzelnen Methoden, nicht jedoch in ihrer Gesamtsumme, vgl. Tabelle 14*

Der Simulationslauf II, vgl. Tabelle 16, unterscheidet sich vom Simulationslauf I, vgl. Tabelle 14, durch eine Konzentration auf die Methode *Kaizen* (42%/Jahr statt 25%/Jahr). Überhaupt nicht eingeführt werden die Methoden *SMED* (5%/Jahr→0%/Jahr) und *Poka Yoke* (15%/Jahr→0%/Jahr). Die logistikorientierten Methoden (vgl. Abschnitt 3.2.2) wurden alle einheitlich auf 10%/Jahr gesetzt. Die mitarbeiterorientierten Methoden (vgl. Abschnitt 3.2.3) wurden alle auf 0%/Jahr gesetzt, also auch nicht implementiert. Auch in diesem Beispiel ist noch

## 6 Modell für Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden

---

keine Lean-Production-Methode implementiert worden und damit sind alle Startwerte bei 0%.

Simulationsmodell - Lean-Production-Methoden			
Einfluss auf Zielgrößen			
	Qualität	Kosten	Zeit
Startwerte	100%	100%	100%
Jahr 1	198%	92%	91%
Jahr 2	268%	82%	81%
Jahr 3	277%	79%	78%
Jahr 4	277%	76%	75%
Jahr 5	277%	73%	72%
Jahr 6	278%	71%	69%
Jahr 7	283%	69%	65%
Jahr 8	287%	67%	62%
Jahr 9	288%	67%	60%
Jahr 10	289%	66%	60%

*Tabelle 17: Auswertung für Simulationslauf II - Ergebnisse des in Tabelle 16 definierten Simulationslaufes II als jährliche Ausgabe der Bestandsgrößen Qualität, Kosten und Zeit*

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse des Simulationslaufes II am Ende eines jeweiligen Jahres der Implementierung dargestellt. Die Ergebnisse unterscheiden sich vom ersten Simulationslauf, vgl. Tabelle 14.

So hat die Zielgröße *Qualität* im Simulationslauf II nach zehn Jahren einen Wert von 289% erreicht. Im Vergleich dazu wurden im Simulationslauf I 331% erreicht. Die Zielgröße *Kosten* ist im Simulationslauf II auf 66% gefallen, im Vergleich dazu wurden im ersten Lauf 58% erreicht. Die Zielgröße *Zeit* ist im Simulationslauf II auf 60% gefallen im Vergleich zu 51% im Simulationslauf I.

Interessant ist dabei, dass im Simulationslauf II zwar nach zehn Jahren schlechtere Endwerte zustande gekommen sind, im Simulationslauf II jedoch bis in das vierte Jahr hinein die Ergebnisse in allen drei Ergebnisgrößen besser waren.

Die Ergebnisse wurden dabei für beide Simulationsläufe bei absolut gleichen Gesamtaufwendungen für die Implementierung der Lean-Production-Methoden



in Höhe von 232%/Jahr erreicht. Der Gesamtaufwand eines Simulationslaufes ist die Summe der eigenen Gradienten für alle Methoden.

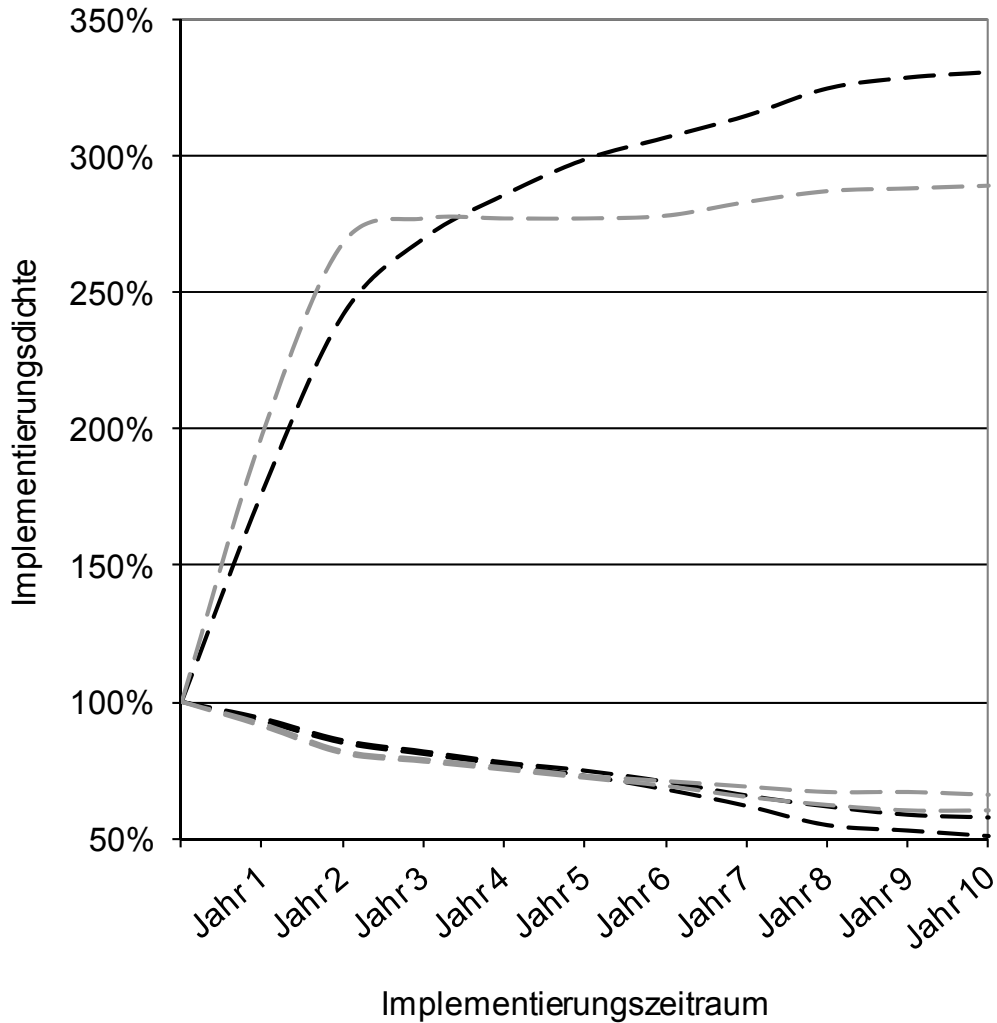


Abbildung 71: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse aus den beiden beispielhaften Simulationsläufen

Das Ergebnis des Simulationslaufes I übertraf das Ergebnis des zweiten im Endergebnis aller drei Zielgrößen. In diesem Sinne kann also das erarbeitete Modell für eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Implementierungspläne von Lean-Production-Methoden verwendet werden.

### 6.7 Zwischenfazit

In Kapitel 6 wurde ein Modell für den Vergleich unterschiedlicher Einführungsstrategien für Lean-Production-Methoden entwickelt. Das Modell basiert auf dem System-Dynamics-Ansatz und repräsentiert den Stand der Technik und Forschung auf dem Gebiet der Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden. Mit dem Modell ist es möglich, verschiedene Implementierungsstrategien für die Methoden von Schlanken Produktionssystemen miteinander zu vergleichen, bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Kennzahlen Qualität, Kosten und Zeit.

In Abschnitt 6.3 und 6.4 wurde der grundsätzliche Aufbau des Modells erläutert. Jede Methode ist im Modell als Subsystem oder Teilmodell dargestellt. Den Kern eines jeden Teilmodells bilden die Bestandsgröße, die den Implementierungsgrad einer Methode darstellt, sowie die Flussgröße, die die Veränderung der Bestandsgröße beeinflusst. Die Flussgröße im Teilmodell wiederum ist der Verbindungsknoten zu den anderen Subsystemen und deren Bestandsgrößen. Mit diesem Verbindungsknoten wird damit die Logik der Abhängigkeiten zwischen den Teilmodellen realisiert. Weiterhin werden auch die Zielgrößen über Teilmodelle dargestellt, deren Verknüpfungen ebenfalls über Flussgrößen zu den anderen Teilmodellen abgebildet sind.

Der Ablauf einer Simulation wurde in Abschnitt 6.5 beschrieben und in einem Flussdiagramm vereinfacht abgebildet. Die Definition und Funktion der Parametereinstellungen wurde anschließend in Abschnitt 6.6 vorgenommen.

Das Kapitel schließt mit einer beispielhaften Gegenüberstellung von zwei unterschiedlichen Implementierungsstrategien und deren Simulationsergebnissen. Damit wurde die Funktionsweise des Gesamtmodells erläutert.

## 7 Anwendung des Modells

### 7.1 Strukturuntersuchung des Modells

Mittels der in Kapitel 6 beschriebenen und miteinander verknüpften Teilmodelle lassen sich nun die Einflüsse unterschiedlicher Implementierungsstrategien auf die Zielgrößen *Qualität*, *Zeit* und *Kosten* in Abhängigkeit der verschiedenen Eingangsparameter simulieren. Alle nachfolgend beschriebenen Simulationen sind mit einer Laufzeit auf zehn Jahre und der Simulationsschrittweite eines Arbeitstages ausgelegt. Bei umsichtiger Wahl der Inputparameter, vgl. hierzu Abschnitt 6.6, sowie sorgfältiger Interpretation der Ergebnisse lassen sich die konkreten quantitativen Auswirkungen unterschiedlicher Einführungsstrategien von Lean-Production-Methoden ermitteln und miteinander vergleichen.

Der erste Simulationslauf wurde mit den Eingangswerten, die in Tabelle 18 dargestellt sind, durchgeführt. Ziel dieses ersten Simulationslaufes war die Ermittlung einer zeitlichen Reihenfolge, in welche die Lean-Production-Methoden aufgrund der voraussetzenden Wirkungsbeziehungen eingeteilt werden können. Diese Reihenfolge entspricht einem Implementierungsvorgehen in sogenannten Phasen oder Wellen, innerhalb derer die verschiedenen Lean-Production-Methoden sequentiell umgesetzt werden.

Um als Ergebnis der Simulation eine Aussage über die Reihenfolge aufgrund vorausgesetzter Wirkbeziehungen zu machen, wurden folgende Werte gewählt (vgl. Abschnitt 6.6):

- Alle Methoden haben einen *Startwert bei Einführung* von 0%, sind also noch nicht im Unternehmen implementiert.
- Der *Unterstützungsgradient* ist für jede Methode gleich gewählt und beträgt 4%/Jahr.
- Der *eigene Gradient*, also die Intensität, mit der die Methode eingeführt wird, ist für jede Methode mit jeweils 15%/Jahr festgelegt.
- Der *Schwellwert* ist bei diesem Simulationslauf am wichtigsten, da er festlegt, wann eine Methode, die von einer anderen abhängig ist, frühestens implementiert werden sollte. Der Schwellwert ist so zu wählen, dass die Abstände zwischen den einzelnen Startzeitpunkten klar voneinander zu unterscheiden sind. In diesem Fall wurden 20% für jede Methode angenommen.

## 7 Anwendung des Modells

Mit der Wahl dieser Parameter war gewährleistet, dass jede Methode mit den gleichen Voraussetzungen begann. Als Ergebnis wurden die frühesten sinnvollen Startpunkte für jede Methode ausgegeben.

	Unterstützungs- gradient [%/Jahr]	Schwellwert für andere [%]	Eigener Gradient [%/Jahr]	Startwert bei Einführung [%]
Einzelstückfluss	4	20	15	0
Flexibles Layout	4	20	15	0
Produktion im Fluss	4	20	15	0
Synchronisation	4	20	15	0
Produktionsnivellierung	4	20	15	0
Just in Time	4	20	15	0
Kanban	4	20	15	0
Mehrmaschinen- bedienung	4	20	15	0
Multidisziplinär ausgebildete MA	4	20	15	0
Flexibler Mitarbeitereinsatz	4	20	15	0
Autonomation	4	20	15	0
5S	4	20	15	0
Standardisierung	4	20	15	0
Visuelles Management	4	20	15	0
TPM	4	20	15	0
SMED	4	20	15	0
Poka Yoke	4	20	15	0
Kaizen	4	20	15	0
Summe			270	

*Tabelle 18: Eingangsparameter für den Simulationslauf zur Generierung der Reihenfolge analog dem Prinzip von Implementierungsphasen*

In Abbildung 72 ist das Ergebnis des Simulationslaufes in der Methodenimplementierung über der Zeit dargestellt. Die Abszisse gibt die Zeit an, die im Simulationslauf vergangen ist. Die Ordinate gibt in der Einheit Prozent den Implementierungsfortschritt einer Methode an. 0% bedeutet, dass die Methode noch nicht im Unternehmen angewandt wird. Alle Methoden starten in diesem Simulationslauf bei 0%. 100% bedeutet, dass die Methode vollumfänglich im Unternehmen eingeführt ist und überall genutzt wird. Für jede Methode ist die Entwicklung der

Implementierung über der Zeit mit einer eigenen Linie gezeichnet. Deutlich zu erkennen sind in Abbildung 72 sechs voneinander abgegrenzte Phasen der Implementierung der Lean-Production-Methoden, die sich aufgrund der Abhängigkeiten zwischen den Methoden ergeben.

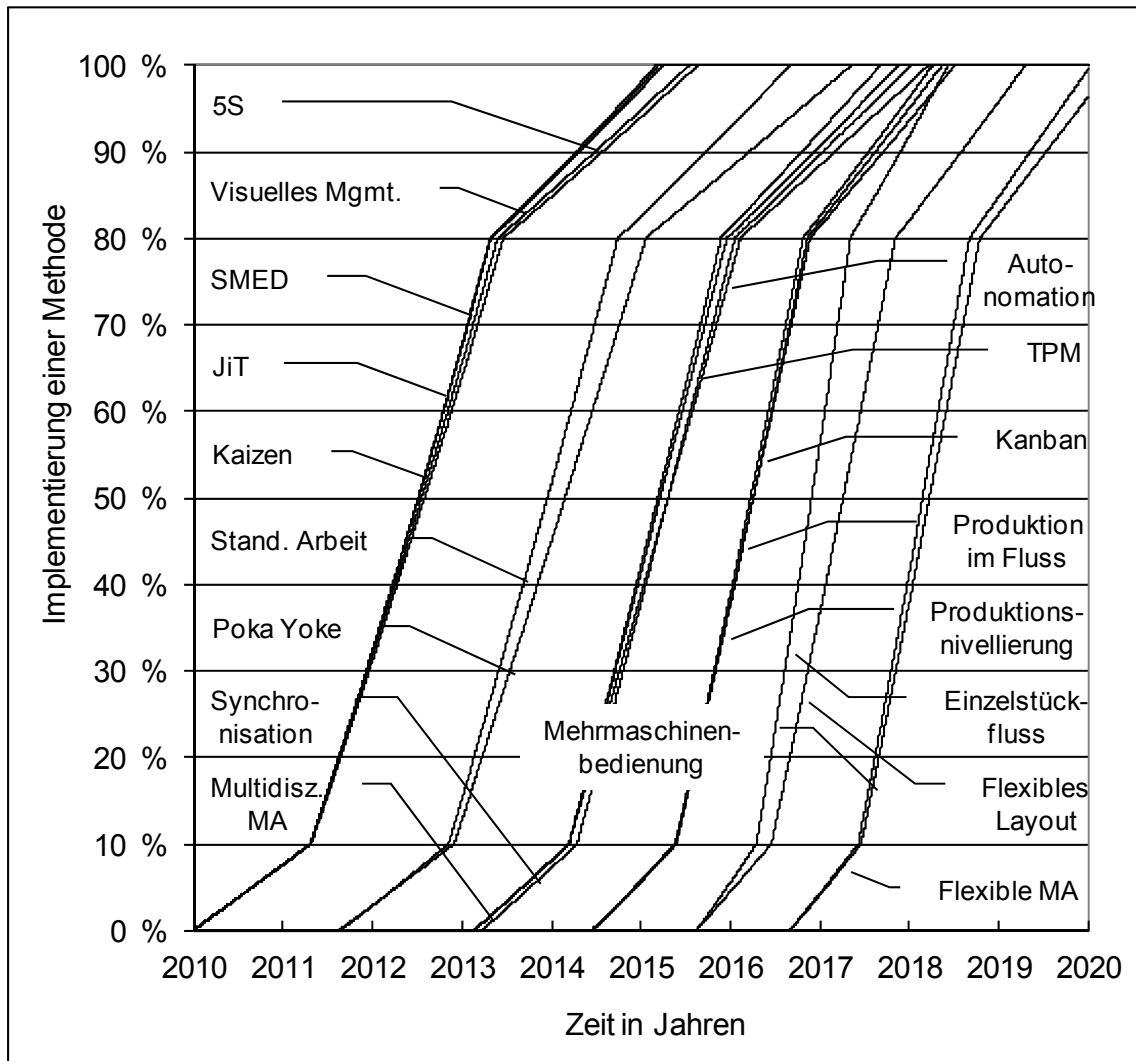


Abbildung 72: Darstellung der Implementierungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden in sogenannten Wellen, abhängig von ihren vorausgesetzten Methoden

Zum besseren Verständnis der Grafik findet sich in Abbildung 73 die gleiche Grafik in einer veränderten Darstellung, die die Entstehung der angenäherten Sigmoide der Methodenimplementierung zeigt und die die Punkte bezeichnet, an denen die Schwellwerte für die Unterstützungsleistung der Methoden im Simulationslauf greifen, für diesen Simulationslauf eingestellt auf 20% für alle Methoden.

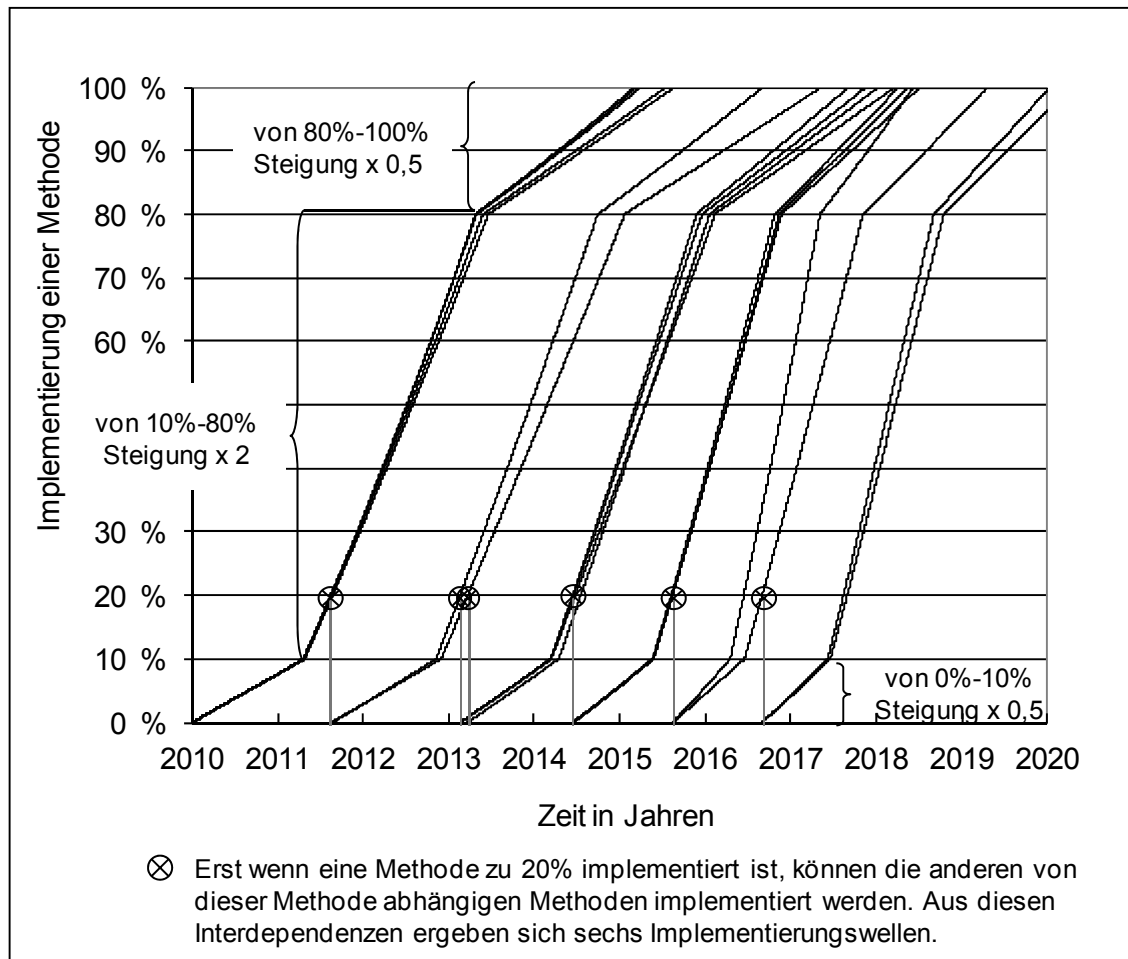


Abbildung 73: Darstellung der Implementierungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden in sogenannten Wellen, mit Bezeichnung der angenäherten Sigmoide und des 20% Schwellwertes

Mit dieser ersten Simulation kann die strukturell bedingte Einführungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden hergeleitet werden. Da eine Methode erst eingeführt werden kann, wenn alle vorausgesetzten Methoden bis zu ihrem Schwellwert implementiert sind, ergibt sich die in Abbildung 74 gezeigte Implementierungsreihenfolge der einzelnen Methoden. Dabei verbinden die Pfeile jeweils die Methoden mit den ihnen vorausgesetzten Methoden. Diese Darstellung ist aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Verbindungen, die für den zeitlichen Versatz einer Methode verantwortlich sind, beschränkt. So hat bspw. die Methode *Mehrmaschinenbedienung* neben den abgebildeten vorausgesetzten Methoden *Autonation* und *Flexibles Layout* auch die Methode *Multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter* zur Voraussetzung. Diese Verbindung ist im vorliegenden Fall jedoch nicht relevant, da sie zu keinem zeitlichen Versatz führt und sie ist daher auch nicht mit abgebildet.

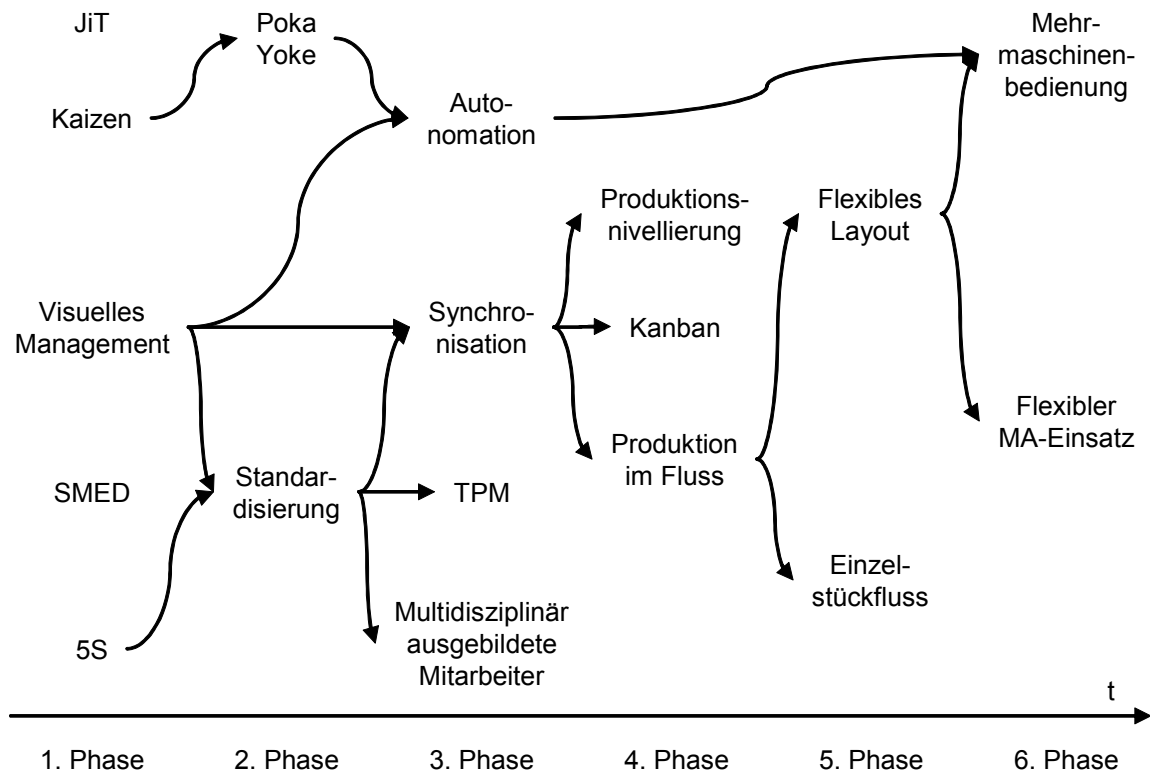


Abbildung 74: Implementierungsreihenfolge der Lean-Production-Methoden, die sich aus den Interdependenzen ergibt, wenn alle Methoden mit gleicher Intensität eingeführt werden.

Die ermittelte Reihenfolge ist nicht als Empfehlung oder Vorgabe einer zeitlichen Implementierungsreihenfolge zu verstehen, sondern ausschließlich die Darstellung der logischen Abhängigkeiten der Methoden, welche dem Modell zugrunde liegen.

## 7.2 Generische Implementierungsuntersuchungen

### 7.2.1 Untersuchungsaufbau

Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Modell soll dem Vergleich unterschiedlicher Einführungsreihenfolgen von Lean-Production-Methoden dienen. Dazu ist im Simulationsmodell Expertenwissen hinterlegt. Im Modell können unterschiedliche Implementierungsstrategien bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Zielgrößen *Zeit*, *Kosten* und *Qualität* verglichen werden (vgl. Abschnitt 6.5). Dafür ist das Modell auf die Untersuchung alternativer Eingangsszenarien für ein System mit gleichbleibender Grundstruktur (vgl. Abschnitt 2.2) ausgelegt.

Neben der Möglichkeit, unterschiedliche Implementierungsreihenfolgen zu untersuchen und zu vergleichen, werden generische Implementierungsreihenfolgen untersucht, um allgemeine Hauptaussagen bezüglich einer Lean-Production-Einführung zu treffen. Hierbei werden unterschiedliche generische Ausgangssituationen vor einer Einführung von Lean-Production-Methoden definiert, die sich anhand der Implementierungsdichte der Methoden im betrachteten Unternehmen unterscheiden. Im Folgenden werden sie Simulationsbasen genannt. Die grundsätzlichen Simulationsbasen sind dabei anhand der Fokussierung der Methoden (vgl. Abschnitt 5.2) aufgeteilt und werden in folgende sechs Ausgangssituationen unterschieden:

1. Keine Lean-Production-Methoden eingeführt;

Die erste Simulationsbasis ist ein Unternehmen, das noch keine Lean-Production-Methoden implementiert hat.

2. Logistikorientierte Methoden eingeführt;

Als zweite Ausgangsbasis wurde angenommen, dass ein Unternehmen ausschließlich die logistisch relevanten Methoden im Unternehmen implementiert hat.

3. Logistik- und mitarbeiterorientierte Methoden eingeführt;

Die nächste Simulationsbasis bildet die Erweiterung der logistischen Methoden um die der mitarbeiterorientierten Methoden.

4. Qualitätsorientierte Methoden eingeführt;

Analog zu den logistischen Methoden wurde in der vierten Simulationsbasis angenommen, dass nur qualitätsrelevante Methoden implementiert worden sind.

5. Qualitäts- und mitarbeiterorientierte Methoden eingeführt;

Für die fünfte Simulationsbasis wurden die qualitätsorientierten und die mitarbeiterorientierten Methoden als implementiert vorausgesetzt.

6. Begonnene holistische Implementierung;

Als sechste Simulationsbasis wurde angenommen, dass alle Lean-Production-Methoden zu einem beliebig gewählten Prozentsatz implementiert sind.



Für die Initialzustände der sechs Simulationsbasen wurden folgende in Tabelle 19 dargestellten Werte als die jeweiligen *Startwerte bei Einführung* eingegeben. Die Werte für die sechste Simulationsbasis „begonnene holistische Implementierung“ sind frei nach Praxiserfahrungen aus begonnenen Implementierungen gewählt.

Simulationsbasen [alle Werte in %]	1	2	3	4	5	6
Einzelstückfluss	0	100	100	0	0	15
Flexibles Layout	0	100	100	0	0	5
Produktion im Fluss	0	100	100	0	0	30
Synchronisation	0	100	100	0	0	5
Produktionsnivellierung	0	100	100	0	0	0
JIT	0	100	100	0	0	40
Kanban	0	100	100	0	0	25
Mehrmasch.-bedienung	0	0	100	0	100	5
Multidisz. ausgebildete MA	0	0	100	0	100	20
Flexibler MA-Einsatz	0	0	100	0	100	10
Autonation	0	0	0	100	100	0
5S	0	0	0	100	100	35
Standardisierung	0	0	0	100	100	10
Visuelles Management	0	0	0	100	100	20
TPM	0	0	0	100	100	5
SMED	0	0	0	100	100	5
Poka Yoke	0	0	0	100	100	0
Kaizen	0	0	0	100	100	20

*Tabelle 19: Gewählte Implementierungsdichte von Lean-Production-Methoden für die jeweilige Simulationsbasis, dargestellt als Startwerte des Einführungsgrades der Methoden*

Neben diesen sechs generischen Ausgangssituationen als Simulationsbasen werden sieben generische Implementierungsstrategien definiert. Auch die Implementierungsstrategien lassen sich wie die Simulationsbasen anhand der Fokussierung der gewählten Methoden unterscheiden (vgl. Abschnitt 5.2). Die gewählten Werte werden in der Simulation als der *eigene Gradient* verwendet.

1. Holistisch orientiert;  
Alle Methoden werden in gleicher Intensität eingeführt (15%/Jahr).
2. Logistisch orientiert;  
Nur die logistisch orientierten Methoden werden mit einer Intensität von 20%/Jahr implementiert, alle anderen Methoden werden nicht implementiert (0%/Jahr).
3. Holistisch logistisch;  
Es werden schwerpunktmäßig die logistisch orientierten Methoden mit einer Intensität von 20%/Jahr implementiert. Alle anderen Methoden werden mit geringer Intensität parallel implementiert (5%/Jahr).
4. Qualitätsorientiert;  
Nur die qualitätsorientierten Methoden werden implementiert mit einer Intensität von 20%/Jahr, alle anderen Methoden werden nicht implementiert (0%/Jahr).
5. Holistisch qualitätsorientiert;  
Es werden schwerpunktmäßig die qualitätsorientierten Methoden mit einer Intensität von 20%/Jahr implementiert. Alle anderen Methoden werden mit geringer Intensität parallel implementiert (5%/Jahr).
6. Mitarbeiterorientiert;  
Nur die mitarbeiterorientierten Methoden werden mit einer Intensität von 20%/Jahr implementiert, alle anderen Methoden werden nicht implementiert (0%/Jahr).
7. Holistisch mitarbeiterorientiert;  
Es werden schwerpunktmäßig die mitarbeiterorientierten Methoden mit einer Intensität von 20%/Jahr implementiert. Alle anderen Methoden werden mit geringer Intensität parallel implementiert (5%/Jahr).

Diese sieben Implementierungsstrategien unterscheiden sich durch die Intensität der Implementierung, die durch den Gradienten der jeweiligen Methodennutzung über eine Liste in das Modell eingelesen wird. Die in Tabelle 20 verzeichneten Werte wurden für die generischen Implementierungsstrategien gewählt.

Implementierungsstrategien [alle Werte in %/Jahr]	1	2	3	4	5	6	7
Einzelstückfluss	15	20	20	0	5	0	5
Flexibles Layout	15	20	20	0	5	0	5
Produktion im Fluss	15	20	20	0	5	0	5
Synchronisation	15	20	20	0	5	0	5
Produktionsnivellierung	15	20	20	0	5	0	5
JIT	15	20	20	0	5	0	5
Kanban	15	20	20	0	5	0	5
Mehrmasch.-bedienung	15	0	5	0	5	20	20
Multidisz. ausgebildete MA	15	0	5	0	5	20	20
Flexibler MA-Einsatz	15	0	5	0	5	20	20
Autonation	15	0	5	20	20	0	5
5S	15	0	5	20	20	0	5
Standardisierung	15	0	5	20	20	0	5
Visuelles Management	15	0	5	20	20	0	5
TPM	15	0	5	20	20	0	5
SMED	15	0	5	20	20	0	5
Poka Yoke	15	0	5	20	20	0	5
Kaizen	15	0	5	20	20	0	5

*Tabelle 20: Generische Implementierungsstrategien, ausgedrückt durch die eigenen Gradienten, also Implementierungsintensität im Rahmen einer Lean-Production-Implementierung*

Im Rahmen der Untersuchung wurden die sechs Simulationsbasen mit den sieben generischen Implementierungsstrategien gekreuzt simuliert, um die unterschiedlichen Auswirkungen gleicher Implementierungsstrategien auf unterschiedliche Anwendungsfälle (Simulationsbasen) zu untersuchen.

### 7.2.2 Simulationsergebnisse

Die Ergebnisse der 42 Simulationsläufe sind die in Tabelle 21 aufgelisteten 42 Endwerte für die Zielgrößen *Qualität*, *Zeit* und *Kosten*.

Dem Simulationsergebnis für die Zielgrößen ist eine relative Bewertung der Veränderung der Zielgrößen zueinander angefügt, um die Wirkung der einzelnen Implementierungsstrategien zu vergleichen.

## 7 Anwendung des Modells

---

Dabei wurden die Ergebnisse in sechs Klassen aufgeteilt und durch bis zu drei Minus- und drei Pluszeichen die Veränderung der Zielgrößen quantifiziert.

1. - - - bei keiner Veränderung einer Zielgröße;
2. - - bei nur leichter Verbesserung (Veränderung <10%) von mindestens zwei Zielgrößen;
3. - bei nur leichter Verbesserung (Veränderung <30%) von allen drei Zielgrößen;
4. + bei guter Verbesserung der Zielgröße Qualität (Veränderung >100%) und guter Verbesserung der beiden Zielgrößen Kosten und Zeit (Veränderung >25%);
5. ++ bei sehr guter Verbesserung der Zielgröße Qualität (Veränderung >200%) und guter Verbesserung der beiden Zielgrößen Kosten und Zeit (Veränderung >25%);
6. +++ bei herausragender Verbesserung der Zielgröße Qualität (Veränderung >300%) und sehr guter Verbesserung der beiden Zielgrößen Kosten und Zeit (Veränderung >35%);

Das Gesamtergebnis in Tabelle 21 zeigt neben den 42 Simulationsergebnissen der Zielgrößen in der letzten Spalte auch die oben beschriebene relative Einschätzung der Ergebniswirksamkeit eines jeden der 42 Simulationsläufe.

## 7.2 Generische Implementierungsuntersuchungen

Lauf. Nr.	Simulationsbasis	Implementierungsstrategie	Qualität [%]	Zeit [%]	Kosten [%]	Klasse	
1	1.1	holistisch orientiert	428	46	43	+++	
2	1.2	logistisch orientiert	100	94	94	--	
3	1.3	1. holistisch logistisch	297	71	70	+	
4	1.4	1.1. Noch keine Lean-Methoden implementiert	qualitätsorientiert	387	69	69	++
5	1.5	1.1. holistisch	qualitätsorientiert	420	48	45	+++
6	1.6	1.1. mitarbeiterorientiert	100	100	100	---	
7	1.7	1.1. holistisch mitarbeiterorientiert	305	73	73	++	
8	2.1	holistisch orientiert	420	60	63	+++	
9	2.2	logistisch orientiert	100	100	100	---	
10	2.3	2. holistisch logistisch	330	75	75	++	
11	2.4	2.1. Logistk-orientierte Methoden implementiert	qualitätsorientiert	387	69	69	++
12	2.5	2.1. holistisch	qualitätsorientiert	420	60	63	+++
13	2.6	2.1. mitarbeiterorientiert	100	100	100	---	
14	2.7	2.1. holistisch mitarbeiterorientiert	357	70	71	++	
15	3.1	holistisch orientiert	387	69	69	++	
16	3.2	3. logistisch orientiert	100	100	100	---	
17	3.3	3.1. Logistik- und mitarbeiterorientierte Methoden implementiert	holistisch logistisch	351	73	73	++
18	3.4	3.1.1. qualitätsorientiert	387	69	69	++	
19	3.5	3.1.1. holistisch	qualitätsorientiert	387	69	69	++
20	3.6	3.1.1. mitarbeiterorientiert	100	100	100	---	
21	3.7	3.1.1. holistisch mitarbeiterorientiert	351	73	73	++	
22	4.1	holistisch orientiert	208	66	63	+	
23	4.2	logistisch orientiert	129	81	73	-	
24	4.3	4. holistisch logistisch	208	66	63	+	
25	4.4	4.1. Qualitätsorientierte Methoden implementiert	qualitätsorientiert	100	100	100	---
26	4.5	4.1.1. holistisch	qualitätsorientiert	208	66	63	+
27	4.6	4.1.1. mitarbeiterorientiert	153	96	96	--	
28	4.7	4.1.1. holistisch mitarbeiterorientiert	208	66	63	+	
29	5.1	holistisch orientiert	129	76	69	-	
30	5.2	5. logistisch orientiert	129	76	69	-	
31	5.3	5.1. Qualitäts- und mitarbeiterorientierte Methoden implementiert	holistisch logistisch	129	76	69	-
32	5.4	5.1.1. qualitätsorientiert	100	100	100	---	
33	5.5	5.1.1. holistisch	qualitätsorientiert	129	76	69	-
34	5.6	5.1.1. mitarbeiterorientiert	100	100	100	---	
35	5.7	5.1.1. holistisch mitarbeiterorientiert	129	76	69	-	
36	6.1	holistisch orientiert	402	51	49	+++	
37	6.2	logistisch orientiert	100	95	93	--	
38	6.3	6. holistisch logistisch	396	52	50	+++	
39	6.4	6.1. Bereits Lean-Methoden implementiert	qualitätsorientiert	365	72	72	++
40	6.5	6.1.1. holistisch	qualitätsorientiert	402	51	49	+++
41	6.6	6.1.1. mitarbeiterorientiert	100	100	100	---	
42	6.7	6.1.1. holistisch mitarbeiterorientiert	397	52	50	+++	

Tabelle 21: Ergebnisse der 42 generischen Simulationsläufe

Dieses vorliegende Ergebnis der Kreuzuntersuchung führt zu folgenden drei Hauptaussagen bezüglich der Einführung von Lean Production:

1. Die alleinige Implementierung von mitarbeiterorientierten Methoden bewirkt ohne vorherige Einführung vorausgesetzter Methoden oder paralleler Einführung anderer Methoden keine Änderung in den Zielgrößen (vergleiche Simulationsläufe 1.6, 2.6, 3.6, 4.6, 5.6, 6.6). Dieses Ergebnis ist auf den ersten Blick erstaunlich, wird doch dem Mitarbeiter im TPS eine zentrale Rolle zuteil, als demjenigen, der Veränderungen treibt und somit die Zielgrößen beeinflusst. Ein Verständnis dieses Ergebnisses erschließt sich über eine genauere Wirkungsanalyse der betrachteten mitarbeiterorientierten Methoden. Es handelt sich um die drei Methoden *Mehrmaschinenbedienung*, *multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter* und *flexibler Mitarbeiter-Einsatz*. Alle drei Methoden erreichen nur im Zusammenspiel mit anderen Methoden eine Wirkung auf die drei definierten Zielgrößen. So entfaltet bspw. die Methode *Mehrmaschinenbedienung* erst in der Kombination mit den Methoden *flexibles Layout* und *standardisiertes Arbeiten* eine Ergebniswirksamkeit. Dies liegt darin begründet, dass eine Mehrmaschinenbedienung nur dann sinnvoll ist, wenn dem Produktionsbereich ein flexibles Layout zu Grunde liegt und standardisiertes Arbeiten eingeführt ist (vgl. Abschnitt 5.2.9). Ebenso sind die beiden Methoden *multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter* und *flexibler Mitarbeiter-Einsatz* Voraussetzung für eine Mehrmaschinenbedienung (vgl. Abschnitte 5.2.10 und 5.2.11), so dass hier durch ein inneres Beziehungsgeflecht der mitarbeiterorientierten Methoden die Komplexität der Implementierung erhöht wird. Sobald jedoch die vorausgesetzten Methoden den vorausgesetzten Implementierungsstatus überschreiten, fangen auch die mitarbeiterorientierten Methoden an zu wirken, allerdings in kleinem Rahmen.
2. Eine rein einseitig betriebene Methodenimplementierung, z.B. rein logistik- oder qualitätsorientiert, führt in den Zielgrößen immer nur zu leichten Verbesserungen, wohingegen die gleiche Implementierungsstrategie, gestützt von einer schon leichten Unterstützung vorausgesetzter Methoden, sofort gute bis sehr gute Verbesserungen bewirkt (vgl. jeweils die logistisch orientierten oder die qualitätsorientierten Implementierungsstrategien mit den holistisch-logistisch orientierten bzw. holistisch qualitätsorientierten Simulationsläufen 1.2 und 1.3, 2.2 und 2.3, ... ). Das heißt, dass die häufig unspezifisch ausgeführten Erklärungen zum Thema „Lean Production als System“ durch die vorliegende detaillierte Analyse von Wirkbeziehungen zwi-

schen Methoden gedeckt und bestätigt werden. Die in der Praxis von Lean-Production-Implementierungen gesammelten Erfahrungen zur holistisch betriebenen Einführung gegenüber der eindimensionalen Implementierung von Einzelmethoden finden sich durch die Ergebnisse bestätigt. Dabei wird nicht nur die Aussage gestützt, dass eine holistische Implementierung erfolgreicher ist als eine methodenzentrierte, sondern auch aufgezeigt, dass eine methodenzentrierte Implementierung durch eine minimalholistische Implementierungsunterstützung aller Methoden einen signifikanten Mehrwert im Sinne der Zielgrößenveränderung bedeutet.

3. Die mit Abstand größten Verbesserungen in den Zielgrößen wurden immer durch eine holistische Einführung aller Methoden erreicht. So ist eine gleichmäßig holistisch betriebene Implementierung in ihrer Auswirkung auf die Zielgrößen einer auf bestimmte Methoden ausgerichteten Implementierungsstrategie immer überlegen, sei diese auch minimal unterstützt durch eine holistische Basisimplementierung. Die besten Ergebnisse einer methodenorientierten Implementierung werden auf der Basis einer qualitätsorientierten Methodennutzung geliefert. Dies unterstreicht die Bedeutung der qualitätsorientierten Methoden im Rahmen von Lean Production.

### **7.3 Resümee**

In Kapitel 7 ist das in den vorherigen Abschnitten vorgestellte Modell im Rahmen struktureller Untersuchungen zur Anwendung gekommen.

Das erste Ergebnis dieser Untersuchung war eine zeitliche Reihenfolge bei der Methodenimplementierung, definiert nur durch die voraussetzenden Interdependenzen zwischen den Methoden, vgl. Abschnitt 5.2.20. Dieses Ergebnis ist definiert durch die Logik der Wirkbeziehungen der Methoden, aus der eine festgelegte Einführungsreihenfolge in sechs Wellen entspringt. Diese Reihenfolge zeigt die Struktur der Interdependenzen transparent durch die Modellanwendung auf.

In Abschnitt 7.2 erfolgten dann die generischen Implementierungsuntersuchungen zur Identifikation allgemeiner Hauptaussagen zu einer Einführung von Lean-Production-Methoden. Die Untersuchung war so angelegt, dass auf der Grundlage von sechs Simulationsbasen sieben generische Einführungsstrategien simuliert wurden, die sich durch ihre Implementierungsschwerpunkte unterscheiden.

Es wurden drei allgemeine Hauptsätze für die Implementierung von Lean-Production-Methoden herausgearbeitet.

Der erste besagt, dass eine alleinige Implementierung von mitarbeiterzentrierten Methoden kaum zu Veränderungen in den Zielgrößen führt.

Der zweite Hauptsatz sagt aus, dass generell eine rein einseitige Implementierung immer zu schlechteren Ergebnissen führt, als eine Implementierung, die durch eine holistische Unterstützung getragen wird.

Der dritte Hauptsatz besagt, dass eine Implementierung am erfolgreichsten verläuft, wenn sie generell holistisch angelegt ist, also alle Methoden implementiert werden. Den wesentlichen Anteil am Erfolg haben dabei immer die qualitätsorientierten Methoden.

Die Anwendung des Modells in Kapitel 7 führte nicht nur zu den drei beschriebenen Hauptsätzen, sondern zeigte auch auf, dass mit dem Simulationsmodell unterschiedliche Implementierungsvorgehensweisen und Ausgangszustände von Unternehmen eingegeben und hinterlegt werden können. Die Ergebnisse der Simulationen sind im Vergleich zu anderen Simulationsläufen analysierbar und geben einen Hinweis auf die qualitativ zu erwartenden Folgen unterschiedlicher Implementierungsstrategien.



---

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Toyota-Produktionssystem (TPS) ist weltweit als der wesentliche Grund für die qualitative Überlegenheit und den Effizienzvorsprung des japanischen Automobilherstellers gegenüber den nordamerikanischen und westeuropäischen Mitbewerbern anerkannt. Die Anfang der 1990er Jahre durch die Studie von Womack und Jones publizierten Unterschiede in der Leistungsfähigkeit von Toyota und den westlichen Automobilherstellern führte zu einem wahren Besucheransturm in japanischen Fabriken. Im Rahmen solcher Visitationen lernen die Besucher einzelne Methoden oder Werkzeuge des TPS kennen und versuchen bereits während des Besuchs eine Nutzung der Methode oder des Werkzeuges im eigenen Unternehmen vorweg zu denken. Seit den 1990er Jahren haben dies viele Manager getan, und Methoden des TPS sind mittlerweile in allen größeren Unternehmen der Automobilbranche eingeführt. Ebenso haben sich viele andere Branchen, wie die Luft- und Raumfahrt, die chemische Industrie, aber auch Krankenhäuser oder Behörden mit der Nutzung der TPS-Methoden und der Werkzeuge beschäftigt.

Festzustellen ist dabei ein differierender Erfolgsgrad der verschiedenen Implementierungsstrategien für einzelne Methoden oder Werkzeuge. Häufig beginnen vor allem die nicht erfolgreichen Implementierungen eines Produktionssystems „à la TPS“ mit einer Managemententscheidung für ein Projekt unter der Überschrift „Gestaltung der Produktion nach TPS-Prinzipien“. Hieraus entsteht in der Folge das Kopieren einzelner Bausteine des TPS, ohne deren Wirkbeziehungen im Gesamtsystem TPS zu berücksichtigen. Dies ist umso verwunderlicher, da alle Veröffentlichungen einschlägiger TPS-Experten genau auf den systemischen Charakter des TPS hinweisen.

Die richtige Frage vor einer Produktionssystemeinführung ist in diesem Sinne nicht die nach der Identifikation geeigneter Methoden, sondern die nach dem Verständnis des Gesamtsystems: „Kopieren statt Kopieren“ ist die hierfür oft benutzte Redewendung. Eine erfolgreiche Implementierung definiert daher zuerst den Sinn und Zweck einer Nutzung von Lean-Production-Methoden. Dies führt dann zur richtigen Gestaltung des eigenen Produktionssystems, um die vorab analysierten und definierten Unternehmensziele zu erreichen. Nur mit einer solchen Strategie, ausgehend von klar definierten Unternehmenszielen, leitet sich also die Gestaltung eines Produktionssystems für eine erfolgreiche Nutzung ab.

Wenn die richtigen Methoden identifiziert sind, stellt sich die Frage nach der Reihenfolge einer Implementierung von Methoden oder Werkzeugen. Hier wird in der Realität häufig der Weg über Versuch und Irrtum beschritten und so über Lerneffekte eine Annäherung an eine geeignete Einführungsstrategie vollzogen. Die Fachliteratur bleibt in der Frage von Einführungsstrategien und Implementierungsreihenfolgen unklar und differiert in ihren Aussagen bezüglich allgemeingültiger Einführungsstrategien. Auf spezifische unterschiedliche Ausgangssituationen von Unternehmen wird nicht eingegangen.

Hier setzt die vorliegende Arbeit an. Es wurde ein Modell vorgestellt, das eine Entscheidungsunterstützung für die Wahl der geeigneten Implementierungsstrategie für Lean Production, basierend auf den Interdependenzen seiner einzelnen Methoden und der Ausgangssituation eines Unternehmens, ermöglicht. Hierzu wurden die wesentlichen Interdependenzen zwischen Lean-Production-Methoden im Rahmen einer umfangreichen Literaturanalyse ermittelt und die Erkenntnisse dazu mit Experteninterviews gespiegelt und erweitert. Sie sind in einer Interdependenzmatrix zusammengefasst und in ein System-Dynamics-Modell eingeflossen. Mit Hilfe dieses Simulationsmodells ist es möglich, verschiedene Ausgangssituationen von Unternehmen zu definieren und auf dieser Basis unterschiedliche Implementierungsstrategien in ihrer Wirkung auf die Zielgrößen *Qualität*, *Zeit* und *Kosten* miteinander zu vergleichen.

Das vorliegende Modell bietet damit die Möglichkeit, den Einfluss der verschiedenen Methoden der Lean Production auf die definierten Zielgrößen zu simulieren. Insbesondere ist es geeignet, die Auswirkungen bei der Einführung des Gesamtsystems auf wesentliche Zielgrößen zu modellieren und mathematisch zu ermitteln. In dem Modell wird berücksichtigt, dass nur die Einführung des gesamten Systems einen nachhaltigen Nutzen zur Effizienzsteigerung bietet. Die singuläre Einführung einzelner Methoden kann nur als begrenzte Einzelmaßnahme mit lokalen Verbesserungen von Produktionsabläufen gesehen werden, die aber weder das Verständnis der TPS-Philosophie nachhaltig beeinflussen noch einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Unternehmensziele leisten kann.

Dennoch ist es mit Hilfe des vorliegenden Modells auch möglich, die Auswirkungen einzelner Methoden auf die Zielgrößen zu simulieren. Allerdings hängen die Ergebnisse von der im Rahmen der Literaturrecherche und Experteninterviews ermittelten Interdependenzstruktur ab. Einen ebenso wesentlichen Faktor bilden die gewählten Inputparameter vor jedem Simulationslauf. Diese sollten

---

vor einer Simulation zunächst begrenzt oder explizit festgelegt werden, um valide Ergebnisse erzielen zu können.

Hierfür sind bei weiteren Untersuchungen auf Basis realer Anwendungsfälle konkrete, mathematische Beziehungen zwischen einzelnen Methoden zu definieren. Ebenso können entsprechende Hinweise aus den Erfahrungen bei bereits tatsächlich erfolgten Einführungen von schlanken Produktionssystemen dazu dienen, die Interdependenzen quantitativ zu konkretisieren. Dadurch sollten zumindest die Schwellwerte und die gegenseitigen Unterstützungsfaktoren ausgearbeitet werden. Idealerweise würden dabei eigene Schwellwerte und Unterstützungsfaktoren für jeweils ausgewiesene Wechselwirkungen definiert werden. Mit Hilfe eines derart beschriebenen Modells ließe sich die Genauigkeit der Ergebnisse und somit auch die Möglichkeit, tiefere Erkenntnisse abzuleiten und Interpretationen vorzunehmen, verbessern.

Eine der wesentlichsten Erweiterungsmöglichkeiten am erstellten Modell ist die Berücksichtigung von Methoden, die über die TPS-Methoden hinausgehen. Ergänzend ist beispielsweise die Einführung der Methoden bzw. deren Intensität, mit der an der Einführung gearbeitet werden kann, an die maximal verfügbare Mitarbeiterkapazität zu koppeln. Sollte der jährliche Anstieg aller Methoden in der Summe zu viel Kapazität erfordern, müsste im Modell eine Eingriffsmöglichkeit bestehen, die die Weiterführung einzelner Methoden zunächst verhindert, bis wieder eine ausreichende Mitarbeiterkapazität zur Verfügung steht. Ebenso könnten die Anpassbarkeit der Produktionsstrukturen, die Serientauglichkeit der Produkte oder auch strukturelle Defizite in bestehenden Werken einfließen. Weiterhin empfiehlt sich für künftige Ausbauschritte eine genaue Ermittlung des Dämpfungsfaktors für die Zielgrößen, insbesondere für Zeit und Kosten. Der aktuell zu Grunde gelegte Dämpfungsfaktor wurde nach subjektiver Meinung in den Experteninterviews definiert. Um diesen Wert zu erhärten und ggf. zu verändern, empfiehlt sich eine entsprechend ausgerichtete Feldstudie des Modells.

Trotz der hier erwähnten Einschränkungen bietet das vorliegende Modell als erste wissenschaftliche Arbeit Anhaltspunkte, die häufig qualitativ beschriebenen, jedoch bisher nie wirklich gemessenen Auswirkungen einer Einführung eines schlanken Produktionssystems in einem der Realität nahe kommenden Verfahren zu simulieren und auch zu quantifizieren. Insbesondere lassen sich verschiedene Einführungsstrategien miteinander vergleichen und in ihren Auswirkungen bewerten. Damit lässt sich eine auf mathematischen Methoden beruhende Analyse der Ursachen für die (positiven) Auswirkungen der Lean Production durchfüh-

## **8 Zusammenfassung und Ausblick**

---

ren. Dies wiederum bewirkt ein insgesamt besseres systemisches Verständnis von Lean Production, was Voraussetzung für die Definition effizienter Implementierungsstrategien ist.

---

## 9 Literaturverzeichnis

AHLSTRÖM & KARLSSON 1996

Ahlström, P.; Karlsson, C.: Change processes towards lean production: The role of the management accounting system. *International Journal of Operations & Production Management*, 16 (1996) 11, S. 42-56.

ALEWELL et al. 1972

Alewell, K.; Bleicher, K.; Hahn, D.: Anwendung des Systemkonzepts auf betriebswirtschaftliche Probleme. In: Bleicher, K. (Hrsg.): *Organisation als System*. Wiesbaden: Gabler 1972, S. 217-221.

BECKER 2005

Becker, H.: *Auf Crashkurs - Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb*. Berlin: Springer 2005.

BECKER 2006

Becker, H.: *Phänomen Toyota : Erfolgsfaktor Ethik*. Berlin: Springer 2006.

BERENS et al. 2004

Berens, W.; Delfmann, W.; Schmitting, W.: *Quantitative Planung*. 4., überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Schaeffer-Poeschel 2004.

BERGER 2002

Berger, R.: Chancen und Risiken der Internationalisierung aus Sicht des Standortes Deutschland. In: Krystek, U. et al. (Hrsg.): *Handbuch Internationalisierung - Globalisierung - eine Herausforderung für die Unternehmensführung*. 2., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer 2002.

BICHENO & HOLWEG 2009

Bicheno, J.; Holweg, M.: *The Lean Toolbox. The essential guide to lean transformation*. Fourth Edition. Buckingham: PICSIE Books 1994.

BÖSENBERG & HAUSER 1994

Bösenberg, D.; Hauser, R.: *Der schlanke Staat. Lean-Management statt Staatsbürokratie*. Düsseldorf: ECON 1994.

BOSSEL 1992

Bossel, H.: *Modellbildung und Simulation : Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme ; ein Lehr- und Arbeitsbuch mit Simulationssoftware*. Braunschweig: Vieweg 1992.

### BRADL 2004

Bradl, P.: Einsatz von System Dynamics in der strategischen Unternehmensplanung: prototypische Implementierung unter besonderer Berücksichtigung der Erfordernisse von Zu- und Abgangssystemen. Diss. Universität Erlangen-Nürnberg 2004 (Arbeitsberichte des Institutes für Informatik 37/03).

### BROCKHAUS 2002-2007

in 15 Bänden. Permanent aktualisierte Online Aufl. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2002-2007.

### BROCKHAUS-WIRTSCHAFT 2004

Bibliographisches Institut F. A. Brockhaus AG: Kalkulation. 1. Aufl. Leipzig: Brockhaus 2004.

### BROWN et al. 2006

Brown, C. B.; Collins, T. R.; McCombs, E. L.: Transformation From Batch to Lean Manufacturing: The Performance Issues. *Engineering Management Journal* 18 (2006) 2, S. 3-13.

### CALDWELL et al. 2005

Caldwell, C.; Brexler, J.; Gillem, T.: *Lean-Six Sigma For Healthcare: A Senior Leader Guide To Improving Cost And Throughput*. American Society for Quality 2005.

### CHALICE 2007

Chalice, R.: *Improving Healthcare Using Toyota Lean Production Methods: 46 Steps for Improvement*. 2. Aufl. American Society for Quality 2007.

### CHEN & PODOLSKY 1993

Chen, T. C. E.; Podolsky, S.: *Just-in-Time Manufacturing: an Introduction*. 1. Aufl. London: Chapman & Hall 1993.

### COCHRAN et al. 2002

Cochran, D. S.; Arinez, J. F.; Duda, J. W.; Linck, J.: A Decomposition Approach for Manufacturing System Design. *Journal of Manufacturing Systems* 20 (2002) Heft 6, S. 371-389.

### COYLE 1996

Coyle, R. G.: *System Dynamics Modelling - A Practical Approach*. London: Chapman & Hall 1996.

### DAENZER & HUBER 1994

Daenzer, W. F.; Huber, F. (Hrsg.): *Systems engineering*. 8. Aufl. Zürich: Industrielle Organisation 1994.

---

DEMING 1986

Deming, W. E.: Out of the Crisis. 2. Aufl. Cambridge, Mass.: Massachusetts Inst. of Technology, Center for Advanced Engineering Study 1986.

DENNIS 2002

Dennis, P.: Lean Production Simplified: A Plain Language Guide to the World's Most Powerful Production System. New York: Productivity Press 2002.

DEUTSCHER BUNDESTAG 2002

Deutscher Bundestag: Schlussbericht der Enquete-Kommission "Globalisierung der Weltwirtschaft - Herausforderungen und Antworten" eingesetzt in der 14. Wahlperiode.

DOMBROWSKI et al. 2005

Dombrowski, U.; Hennersdorf, S.; Schmidt, S.: Kennzahlen im ganzheitlichen Produktionssystem : Ein Beispiel zur Auswahl, Abstimmung und Verwendung von Kennzahlen im Rahmen eines ganzheitlichen Produktionssystems. PPS Management 4 (2005) 10, S. 19-23.

DOMBROWSKI et al. 2006

Dombrowski, U.; Palluck, M.; Schmidt, S.: Typologisierung Ganzheitlicher Produktionssysteme. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (2006) 10, S. 553-556.

DÖRNER 1989

Dörner, D.: Die Logik des Misslingens: strategisches Denken in komplexen Situationen. 1. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1989.

DOYLE & FORD 1998

Doyle, J. K.; Ford, D. N.: Mental models concepts for system dynamics research. System Dynamics Review 14 (1998) 1, S. 3-29.

DREW et al. 2005

Drew, J.; McCallum, B.; Roggenhofer, S.: Unternehmen Lean - Schritte zu einer neuen Organisation. Frankfurt am Main: Campus 2005.

ERLACH 2007

Erlach, K.: Wertstromdesign - Der Weg zur schlanken Fabrik. Berlin: Springer 2007.

ERVIK & RANDERS 1976

Ervik, L., K.; Randers, J.: Elements of System Dynamics Methods. The proceedings of the 1976 International Conference on System Dynamics. Geilo, Norwegen, 8.-15. August 1976.

ESPEJO 1994

Espejo, R.: What is System Thinking? System Dynamics Review 10 (1994) 2-3, S. 199-212.

FEGGELER & NEUHAUS 2002

Feggeler, A.; Neuhaus, R.: Was ist neu an Ganzheitlichen Produktionssystemen? In: Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Ganzheitliche Produktionssysteme: Gestaltungsprinzipien und deren Verknüpfung. Köln: Bachem 2002, S. 16-27.

FERDOWS & DE MEYER 1990

Ferdows, K.; De Meyer, A.: Lasting Improvements in Manufacturing Performance: In Search of a New Theory. *Journal of Operations Management* 9 (1990) 2, S. 168-184.

FORD & CROWTHER 1926

Ford, H.; Crowther, S.: Today and tomorrow. Garden City, NY: Doubleday, Page & Comp. 1926.

FORRESTER 1969

Forrester, J. W.: *Industrial Dynamics*. Cambridge, Mass.: MIT Press 1969.

FORRESTER 1972a

Forrester, J. W.: *Grundzüge einer Systemtheorie : ein Lehrbuch*. Wiesbaden: Gabler 1972.

FORRESTER 1972b

Forrester, J. W.: *Industrial dynamics*. Cambridge/Mass.: M.I.T. Press 1972.

FORRESTER 1994

Forrester, J. W.: System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. *System Dynamics Review* 10 (1994) 2, S. 245-256.

FUNKE 1992

Funke, J.: Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung. In: Albert, D. et al. (Hrsg.): *Lehr- und Forschungstexte Psychologie* (43). Berlin: Springer 1992.

GEORGE 2002

George, M. L.: *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*. New York: McGraw Hill 2002.

GEORGE et al. 2005

George, M. L.; Rowlands, D.; Price, M.; Maxey, J.: *The Lean Six Sigma Pocket Toolkit: A Quick Reference Guide for Nearly 100 Tools for Improving Process Quality, Speed, and Complexity*. New York: McGraw Hill 2005.

GILGEOUS & GILGEOUS 1999

Gilgeous, V.; Gilgeous, M.: A framework for manufacturing excellence. *Integrated Manufacturing Systems* 10 (1999) 1, S. 33-44.



---

GLENDAY 2005

Glenday: Moving to Flow. IEE Manufacturing Engineer 84 (2005) 2, S. 20-23.

GRIEF 1991

Grief, M.: The Visual Factory. Portland, OR: Productivity Press 1991.

GROSS 2002

Gross, J. M.: Fundamentals of Preventing Maintenance. NY: AMACOM 2002. ISBN: 0-8144-0736-6.

GUTENBERG 1951

Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Band 1: Die Produktion. Berlin Heidelberg New York: Springer 1951.

HADELER & SELLIEN 2000

Hadeler, T.; Sellien, R.: Gabler-Wirtschaftslexikon : die ganze Welt der Wirtschaft: Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft, Recht, Steuern. 15. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2000.

HARBOUR CONSULTING 2007

The Harbour Report - 2007 North America Press release

<[http://www.oliverwyman.com/content\\_images/2007PressRelease\\_EN.pdf](http://www.oliverwyman.com/content_images/2007PressRelease_EN.pdf)> -

HAYES & WHEELWRIGHT 1979

Hayes, R. H.; Wheelwright, S. C.: Link manufacturing process and product life cycles. Harvard Business Review Jan-Feb (1979), S. 133-140.

HAYES 1981

Hayes, R. H.: Why Japanese Factories Work. Harvard Business Review 59 (1981) 4, S. 57-66.

HIRANO 1992

Hirano, H.: Poka Yoke. 240 Tips für Null-Fehler Programme. Landsberg: Moderne Industrie 1992.

HOPP & SPEARMAN 2004

Hopp, W. H.; Spearman, M. L.: To Pull or not to Pull: What Is the Question? Manufacturing and Service Operations Management 6 (2004) 2, S. 133-148.

HUSBY 2007

Husby, P.: Becoming Lean. Material Handling Management 62 (2007) 8, S. 42-45.

IMAI 1986

Imai, M.: Kaizen: the Key to Japanese Competitive Success. New York, NY: McGraw-Hill 1986.

## 9 Literaturverzeichnis

---

### JACOB & MEYER 2006

Jacob, F.; Meyer, T.: Einleitung: Globalisierung und globale Produktion. In: Abele, E.; Kluge, J.; Näher, U. (Hrsg.): Handbuch Globale Produktion. München: Carl Hanser Verlag 2006, S. 2-35.

### KARLSSON & AHLSTRÖM 1996

Karlsson, C.; Ahlström, P.: Assessing Changes towards Lean Production. International Journal of Operations & Production Management, 16 (1996) 2, S. 24-41.

### KIM 1995

Kim, D. H.: Systems thinking tools. Cambridge, Mass.: Pegasus 1995.

### KIMURA & TERADA 1981

Kimura, O.; Terada, H.: Design and analysis of Pull System, a method of multi-stage production control. International Journal of Production Research 19 (1981) 3, S. 241-253.

### KLAPPER 2001

Klapper, N.: Wie erfolgreiche Unternehmen ihre Wertschöpfung internationalisieren. In: Little, A. D. (Hrsg.): Einkauf - Produktion - Logistik. Wiesbaden: Gabler 2001, S. 149.

### KLUGER 2007

Kluger, H. Harbour Report mit neuen Siegern. Automobilwoche, Augsburg. Ausgabe vom 20-24.09.2007.

### KNORR-BREMSE 2002

Knorr-Bremse (Hrsg.): Knorr-Bremse Produktionssystem - Ein Methodenhandbuch für Mitarbeiter, Z-P-1006-DE-01. München: Juni 2002.

### KORGE & SCHOLTZ 2004

Korge, A.; Scholtz, O.: Fabrikorganisation, Arbeitsgestaltung, Management - Ganzheitliche Produktionssysteme: Produzierende Unternehmen innovativ organisieren und führen. wt Werkstattstechnik online Jahrgang 94 (2004), S. 2-6.

### KOXHOLT 1967

Koxholt, R.: Die Simulation - ein Hilfsmittel der Unternehmensforschung. 1. Aufl. München: Oldenbourg 1967.

### KRAFCIK 1988

Krafcik, J. F.: Comparative analysis of performance indicators at world auto assembly plants. Diss. Thesis M.S. --Massachusetts Institute of Technology Sloan School of Management 1988.

---

KRAFCIK & MACDUFFIE 1989

Krafcik, J. F.; MacDuffie, J. P.: Explaining High Performance manufacturing: The international automotive assembly plant study. Studie im Forschungsprogramm IMVP, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge USA (1989).

KRALLMANN et al. 1999

Krallmann, H.; Frank, H.; Gronau, N.: systemanalyse im Unternehmen: partizipative Vorgehensmodelle, objekt- und prozessorientierte Analysen, flexible Organisationsarchitekturen. 3., völlig überarb. und erw. Aufl. München: Oldenbourg 1999.

KÜLL & STÄHLY 1999

Küll, R.; Stähly, P.: Zur Planung und effizienten Abwicklung von Simulationsexperimenten. In: Biethahn, J. et al. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. State of the Art und neuere Entwicklungen. Heidelberg: Physica 1999, S. 1-21.

LACEY & FORD 1987

Lacey, R.; Ford, H.: Ford - eine amerikanische Dynastie. Düsseldorf: Econ 1987.

LANE 1995

Lane, D., C.: On a Resurgence of Management Simulations and Games. Journal of Operational Research Society 46 (1995) 5, S. 604-625.

LANZA ET AL. 2008

Lanza, G.; Peter, K.; Ude, J.: Ganzheitliche Produktionssysteme: Wann, Warum, Wie? Industrie Management 24 (2008) 5, S. 49-52.

LANZA ET AL. 2011

Lanza, G.; Jondral, A.; Moser, R.; Kübler, L.: Erfolgsfaktoren beim Einsatz von Lean-Methoden. Productivity Management, Jahrgang 16, (2011) 3, S. 36-39.

LI et al. 2005

Li, S.; Subba Rao, S.; Ragu-Nathan, T. S.; Ragu-Nathan, B.: Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. Journal of Operations Management 23 (2005) 6, S. 618-641.

LIKER 1997a

Liker, J. K.: Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Portland, OR: Productivity Press 1997.

LIKER 1997b

Liker, J. K.: Introduction: Bringing Lean Back to the U.S.A. In: Liker, J. K. (Hrsg.): Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Portland, OR: Productivity Press 1997, S. 2-39.

### LIKER 2004

Liker, J. K.: The Toyota way. New York: McGraw-Hill 2004.

### LIKER & HOSEUS 2008

Liker, J. K.; Hoseus, M.: Toyota Culture - The Heart and Soul of the Toyota Way. New York: McGraw-Hill 2008. ISBN: 978-0-07-149217-1.

### LJUNGBERG 1998

Ljungberg, Ö. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. International Journal of Operations & Production Management, 18 (1998) 5, S. 495-507.

### MALIK 2006

Malik, F.: Strategie des Managements komplexer Systeme: ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme. 9. unveränderte Aufl. Bern: Haupt 2006.

### MAN NUTZFAHRZEUGE AG 2007

MAN Nutzfahrzeuge AG (Hrsg.): MNPS-Fibel. 1. Aufl. Internationales MNPS-Forum, München: 2007.

### MANN 2005

Mann, D.: Creating a Lean Culture: Tools to Sustain Lean Conversions. New York: Productivity Press 2005.

### MCCARTHY & RICH 2004

McCarthy, D.; Rich, N.: Lean TPM: A Blueprint for Change. neue Aufl. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann 2004.

### MEADOWS et al. 1972

Meadows, D. L.; Meadows, D. H.; Randers, J.; Behrens, W. W.: The limits to growth. London: Universe Books 1972.

### MILBERG & HEITMANN 2000

Milberg, J.; Heitmann, K.: Accurate Prediction for the Optimization of Production by Means of Applying Stochastic Models. WGP Annal VII (2000) 1, S. 139-142.

### MILLING 1984

Milling, P.: System Dynamics - Konzeption und Anwendung einer Systemtheorie. Beiträge des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften, Beitr. Nr. [19] 84, 01, Universität Osnabrück (1984).

### MILLING 1996

Milling, P.: Simulation in der Produktion. In: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996, S. 1840-1852.

---

MONDEN 1998

Monden, Y.: Toyota production system: an integrated approach to just-in-time. 3. editierte Aufl. Norcross: Engineering & Management Press 1998.

MORECROFT 1992

Morecroft, J. D. W.: Executive knowledge, models and learning. European Journal of Operational Research 59 (1992) 1, S. 9-27.

NAGEL 2003

Nagel, M.: Flexibilitätsmanagement - Ein systemdynamischer Ansatz zu quantitativen Bewertung von Produktionsflexibilität. Diss. Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt (2002). Wiesbaden 2003.

NAKAJIMA 1988

Nakajima, S.: Introduction to TPM. Cambridge, Mass.: Productivity Press 1988.

OELTJENBRUNS 2000

Oeltjenbruns, H.: Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas. Diss. Technische Universität Clausthal (2000). Aachen: Shaker 2000.

OHNO 1988

Ohno, T.: Toyota Production System: beyond large-scale production. Cambridge, MA: Productivity Press 1988.

OHNO 1993

Ohno, T.: Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt am Main: Campus 1993.

OSSIMITZ 2006

Ossimitz, G.: Bestandsgrößen und Flussgrößen. Arbeitspapier, Universität Klagenfurt (2006). <<http://wwwu.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/bestflus.pdf>> - 01.12.2007.

PAGENKOPF 1998

Pagenkopf, J.: Simulation. In: Albers, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft (HdWW), Band 6. 10 Aufl. Stuttgart: Fischer 1998, S. 536-549.

PALM 2005

Palm, W. J.: System Dynamics. Boston, Mass.: McGraw-Hill 2005.

PETER 2009

Peter, K.: Bewertung und Optimierung der Effektivität von Lean Methoden in der Kleinserienproduktion. Diss. Universität Karlsruhe (TH) (2009). Forschungsberichte aus dem wbk Institut für Produktionstechnik Band 151.

PETERSON & EBERLEIN 1994

Peterson, D. W.; Eberlein, R. L.: Reality Check: A Bridge between Systems Thinking and System Dynamics. System Dynamics Review 10 (1994) 2-3, S. 159-174.

POMMERENING 1987

Pommerening, K.: Computersimulation dynamischer Systeme dargestellt am Beispiel der Räuber-Beute-systeme und anderer Wachstumsmodelle aus der Ökologie. Skript zum Praktikum in Software-Engineering, Universität Mainz (1987).

QUARTERMAN 2003

Strategos Inc.: Implementing Lean Manufacturing: Imitation to Innovation <<http://www.strategosinc.com/implementation0.htm>> - 03.11.2007.

REINHART ET AL. 2003

Reinhart, G.; Zäh, M. F.; Habicht, C.; Neise, P.: Einführung schlanker Produktionssysteme. Methoden und Vorgehensweisen. wt Werkstattstechnik online Jahrgang 93 (2003), S. 571-574.

REINHART 2007

Reinhart, G.: Vorlesung Fabrikplanung. Vorlesungsskript, Technische Universität München (2007).

RICH 1999

Rich, N.: TPM: The Lean Approach. Liverpool: Liverpool Academic Press 1999.

RICH et al. 2006

Rich, N.; Bateman, N.; Esain, A.; Massey, L.; Samuel, D.: Lean Evolution: Lessons from the Workplace. New York: Cambridge University Press 2006.

RICHMOND 1993

Richmond, B.: Systems Thinking - Critical Thinking Skills for the 1990s and beyond. System Dynamics Review 9 (1993) 2, S. 113-133.

RICHMOND 1994

Richmond, B.: Systems Thinking - Systems Dynamic: let's just get on with it. System Dynamics Review 10 (1994) 2-3, S. 135-157.

RIVERA & CHEN 2007

Rivera, L.; Chen, F. F.: Measuring the impact of Lean tools on the cost-time investment of a product using cost-time profiles. Robotics and Computer Integrated Manufacturing 23 (2007), S. 684-689.

---

ROTHER & SHOOK 1998

Rother, M.; Shook, J.: Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Brookline, Mass.: Lean Enterprise Institute 1998.

ROTHER & HARRIS 2001

Rother, M.; Harris, R.: Creating continuous flow : an action guide for managers, engineers and production associates. Brookline, Mass.: Lean Enterprise Institute 2001.

SCHIEMENZ 1993

Schiemenz, B.: Betriebswirtschaftliche Systemtheorie. In: Wittmann, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5., völlig neu gest. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1993, S. 4127-4140.

SCHONBERGER 1982

Schonberger, R.: Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity. New York: Free Press 1982.

SCHONBERGER 1986

Schonberger, R.: World class manufacturing: the lessons of simplicity applied. New York: Free Press 1986.

SCHÖNEBORN 2004

Schöneborn, F.: Strategisches Controlling mit System Dynamics. Heidelberg: Physica 2004.

SCHUH et al. 1998

Schuh, G.; Millarg, K.; Göransson, Å. Virtuelle Fabrik : neue Marktchancen durch dynamische Netzwerke. München: Hanser 1998.

SENGE 1990

Senge, P. M.: The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. New York: Doubleday 1990.

SHAH & WARD 2003

Shah, R.; Ward, P. T.: Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. Journal of Operations Management 21 (2003) 2, S. 129-149.

SHAH & WARD 2007

Shah, R.; Ward, P. T.: Defining and developing measures of lean production. Journal of Operations Management 25 (2007) 4, S. 785-805.

SHEWHART 1986

Shewhart, W. A.: Statistical method from the viewpoint of quality control. Mineola, NY: Dover Publ. 1986. (Reprint. Originally published: Washington, D.C.: Graduate School of the Department of Agriculture 1939).

SHINGO 1989

Shingo, S.: A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint. Revised Edition. Cambridge, Mass.: Productivity Press 1989.

SHINGO 1993

Shingo, S.: Das Erfolgsgeheimnis der Toyota-Produktion : eine Studie über das Toyota-Produktionssystem - genannt die "Schlanke Produktion". 2. Aufl. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie 1993.

SHINGO 1996

Shingo, S.: Quick Changeover for Operators: the SMED System. Portland, OR: Productivity Press 1996.

SHOOK 1997

Shook, J., Y.: Bringing the Toyota Production System to the United States: A Personal Perspective. In: Liker, J. K. (Hrsg.): Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Portland, OR: Productivity Press 1997, S. 40-69.

SMALLEY 2004

Smalley, A.: Creating Level Pull: A Lean Production-System Improvement Guide for Production-Control, Operations, and Engineering Professionals (Lean Tool Kit). Brookline, Mass.: Lean Enterprises Institute 2004.

SMALLEY 2005a

Smalley, A.: Lean manufacturing - The starting point for Lean manufacturing: Achieving basic stability. Management Services (2005) Winter 2005, S. 8-11.

SMALLEY 2005b

Superfactory Ventures LLC: TPS vs. Lean and the Law of Unintended Consequences

<[http://www.superfactory.com/articles/smalley\\_tps\\_vs\\_lean.htm](http://www.superfactory.com/articles/smalley_tps_vs_lean.htm)> - 12.11.2007.

SPATH et al. 2001

Spath, D.; Baumeister, M.; Dill, C.: Ist Flexibilität genug? Zum Management von Turbulenzen sind neue Fähigkeiten gefragt. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 96 (2001) 5, S. 235-241.

SPATH 2003

Spath, D.: Ganzheitlich produzieren : innovative Organisation und Führung. Stuttgart: LOG\_X Verl. 2003.



---

SPATH 2011

Spath, D.; Korge, A.; Krause, T.; Lanza, G.; Jondral, A.; Moser, R.: Hybrides Planungswerkzeug zur adaptiven Auslegung von Lean-Methoden. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (2011) 6, S. 413-417.

SPEAR & BOWEN 1999

Spear, S.; Bowen, H. K.: Decoding the DNA of the Toyota Production System. Harvard Business Review (1999) September-October 1999, S. 12.

STERMAN 1991

Sterman, J., D.: A Skeptic's Guide to Computer Models. In: Barney, G. O. (Hrsg.): Managing a Nation: The Microcomputer Software Catalog. Boulder, CO: Westview Press 1991, S. 209-229.

STERMAN 1994

Sterman, J., D.: Learning in and about complex systems: Special Issue: Systems Thinkers, Systems Thinking. System Dynamics Review 10 (1994) 2-3 Summer-Fall, S. 291-330.

STERMAN 2000

Sterman, J., D.: Business Dynamics - Systems Thinking and Modelling for a Complex World. 1. Aufl. Boston: Irwin Mc-Graw-Hill 2000.

STROHHECKER 1998

Strohhecker, J.: System- und objektorientierte Simulation betriebswirtschaftlicher Entscheidungen. Diss. Universität Mannheim (1997). Berlin: Duncker und Humblodt 1998 (Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität Mannheim 53).

SUGIMORI et al. 1977

Sugimori, Y.; Kusunoki, K.; Cho, F.; Uchikawa, S.: Toyota production system and Kanban system: Materialization of just-in-time and respect-for-human system. International Journal of Production Research 15 (1977) 6, S. 553-564.

SUH 1998

Suh, N. P.: Axiomatic Design Theory for Systems. Research in Engineering Design 10 (1998) 4, S. 189-209.

SUZAKI 1983

Suzaki, K.: The new manufacturing challenge: techniques for continuous improvement. New York: Free Press 1983.

TAKEDA 1995

Takeda, H.: Das synchrone Produktionssystem: Just-in-Time für das ganze Unternehmen. Landsberg am Lech: Verl. Moderne Industrie 1995.

TAKEDA 1996

Takeda, H.: Automation ohne Verschwendung. Landsberg: Verl. Moderne Industrie 1996. ISBN: 3-478-91490-6.

TAKEDA & MEYNERT 2004

Takeda, H.; Meynert, A.: Das synchrone Produktionssystem : Just-in-time für das ganze Unternehmen. 4. Aufl. Frankfurt: Redline Wirtschaft 2004.

ULRICH 1970

Ulrich, H.: Die Unternehmung als produktives soziales System. 2. Aufl. Bern: Haupt 1970.

ULRICH & PROBST 1991

Ulrich, H.; Probst, G. J. B.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: ein Brevier für Führungskräfte. 3. erw. Aufl. Bern: Haupt 1991.

VDI 3633

VDI 3633, Blatt 7: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Kostensimulation. Berlin: Beuth 2001.

VENNIX et al. 1994

Vennix, J. A. M.; Andersen, D. F.; Richardson, G. P.; Rohrbauch, J.: Model building for group decision support: issues and alternatives in knowledge elicitation. In: Morecroft, J. D. W. et al. (Hrsg.): Modeling for learning organizations. Portland: Productivity Press 1994, S. 29-49.

WESTWOOD et al. 2007

Westwood, N.; James-Moore, M.; Cooke, M.: Going lean in the NHS. Introductory Guide for Healthcare Organisations, University of Warwick, NHS Institute for Innovation and Improvement (2007).

WHITE et al. 1999

White, R., E.; Pearson, J., N.; Wilson, J., R.: JIT Manufacturing: A Survey of Implementations in Small and Large U.S. Manufacturers. Management Science 45 (1999) 1, S. 1-15.

WIEGAND & FRANCK 2004

Wiegand, B.; Franck, P.: Lean Administration I: So werden Geschäftsprozesse transparent. Schritt 1: Die Analyse. Workbook. Aachen: Lean Management Institut 2004.

WIEGAND & NUTZ 2007

Wiegand, B.; Nutz, K.: Lean Administration II: So werden Geschäftsprozesse effizient. Aachen: Lean Management Institute 2007.

WILDEMANN 1987

Wildemann, H.: Produktion und Zulieferung auf Abruf: Das Just-in-time Konzept,. Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Fertigungswirtschaft. Universität Passau (1987).

---

WILDEMANN 2005

Wildemann, H.: Produktionssysteme : Leitfaden zur methodengestützten Reorganisation der Produktion. 3. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management GmbH & Co. 2005.

WOMACK et al. 1990

Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.: The machine that changed the world - based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million-dollar 5-year study on the future of the automobile. New York: Rawson Associates 1990.

WOMACK & JONES 1996

Womack, J. P.; Jones, D. T.: Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Simon & Schuster 1996.

WOMACK & JONES 1997

Womack, J. P.; Jones, D. T.: Auf dem Weg zum perfekten Unternehmen: (Lean Thinking). Frankfurt am Main: Campus 1997.

ZÄH & AULL 2006

Zäh, M. F.; Aull, F.: Lean Production - Methoden und Interdependenzen. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 9, S. 683-687.



---

## **10 Anhang**

### **10.1 Genannte Firmen**

General Motors Corporation

P.O. Box 33170

Detroit, MI 48232-5170 USA

<http://www.gm.com/>

Harbour Consulting Inc.

3310 W. Big Beaver Road, Ste. 137

Troy, MI 48084, USA

<http://www.harbourinc.com/>

Knorr-Bremse AG

Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH

Moosacher Straße 80

80809 München, Deutschland

<http://www.knorr-bremse.com>

MAN Nutzfahrzeuge AG (seit 2011: MAN Truck & Bus AG)

Dachauer Straße 667

80995 München, Deutschland

<http://www.mantruckandbus.de>

Microsoft Corporation

1 Microsoft Way

Redmond, WA 98052, USA

<http://www.microsoft.com>

Microsoft Deutschland GmbH

Konrad-Zuse-Straße 1

85716 Unterschleißheim, Deutschland

<http://www.microsoft.de>

PowerSim Software AS

Litleåsvegen 79

N-5132 Nyborg, Bergen, Norwegen

<http://www.powersim.com>

Toyota Motor Corporation

1 Toyota-Cho

Toyota City

Aichi Prefecture 471-8571, Japan

<http://www.toyota.co.jp>

### **10.2 Genutzte Softwareprodukte**

Microsoft Excel® 2002

Tabellenkalkulation

Microsoft Corporation

Powersim Studio 7 Academic

Software zur Erstellung und Simulation von System Dynamics

PowerSim Software AS

---

### **10.3 Studentische Arbeiten**

Ernst, J.: Produktionssysteme – Ein Vergleich des Toyota Produktionssystems mit modernen Derivaten, 2006.

Hauser, M.: Interdependenzanalyse zu Lean-Production-Methoden, 2006.

Schneider, J.: Konzeption und Erstellung eines System-Dynamic-Modells zur Interdependenzanalyse von Lean-Production-Methoden, 2007.

Weidinger, W.: Kennzahlenbasierte Analyse zu Lean-Production-Methoden, 2008.

### 10.4 Programmierertexte im Modell - umgesetzt in POWERSIM

#### 10.4.1 Programmierertext für Methoden

##### Programmierertext zur Berechnung der Methode „Einzelstückfluss“

```
IF(((Produktion_im_Fluss>=Schwellwert_fuer_Produktion_im_Fluss)
  AND(Gradient_Einzelstueckfluss>0<<%/yr>>)
  AND(Synchronisation>=Schwellwert_fuer_Synchronisation)
  AND('Standardisierte_Arbeit'>=Schwellwert_fuer_Standardisierte_Arbeit))=TRUE,
  IF(Einzelstueckfluss<10%,0.5*(Gradient_Einzelstueckfluss
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
    + (3/3)*Unterstützung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
    + (2/3)*Unterstützung_durch_Synchronisation*Synchronisation
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Mehrmaschinenbed*Mehrmaschinenbedienung
    + (2/3)*Unterstützung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*Unterstützung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Autonation*Autonation
    + (3/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (2/3)*Unterstützung_durch_SMED*SMED
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),
  IF(Einzelstueckfluss<80%,2*(Gradient_Einzelstueckfluss
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
    + (3/3)*Unterstützung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
    + (2/3)*Unterstützung_durch_Synchronisation*Synchronisation
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Mehrmaschinenbed*Mehrmaschinenbedienung
    + (2/3)*Unterstützung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*Unterstützung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
```



---

```

+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Autonomation*Autonomation
+ (3/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF(Einzelstueckfluss<100%,0.5*(Gradient_Einzelstueckfluss
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
+ (3/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Mehrmaschinenbed*Mehrmaschinenbedienung
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Autonomation*Autonomation
+ (3/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)

```

### **Programmiertext zur Berechnung der Methode „Flexibles Layout“**

```

IF((Produktion_im_Fluss>=Schwellwert_fuer_Produktion_im_Fluss)
AND(Gradient_Flexibles_Layout>0<<%/yr>>)=TRUE,
IF('Flexibles Layout'<10%,0.5*(Gradient_Flexibles_Layout
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Mehrmaschinenbed*Mehrmaschinenbedienung
+ (3/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

```

IF('Flexibles Layout'<80%,2*(Gradient_Flexibles_Layout
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Mehrmaschinenbed*Mehrmaschinenbedienung
+ (3/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*5S'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF('Flexibles Layout'<100%,0.5*(Gradient_Flexibles_Layout
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Mehrmaschinenbed*Mehrmaschinenbedienung
+ (3/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*5S'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)

```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Produktion im Fluss“

```

IF((Synchronisation>=Schwellwert_fuer_Synchronisation AND 'Standardisierte Arbeit'>=Schwellwert_fuer_Standardisierte_Arbeit)
AND(Gradient_Produktion_im_Fluss>0<<%/yr>>)=TRUE,
IF(Produktion_im_Fluss<10%,0.5*(Gradient_Produktion_im_Fluss
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Einzelstueckfluss*Einzelstueckfluss
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

---

```

IF(Produktion_im_Fluss<80%,2*(Gradient_Produktion_im_Fluss
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Einzelstueckfluss*Einzelstueckfluss
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF(Produktion_im_Fluss<100%,0.5*(Gradient_Produktion_im_Fluss
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Einzelstueckfluss*Einzelstueckfluss
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
    0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)

```

### **Programmiertext zur Berechnung der Methode „Synchronisation“**

```

IF(('Standardisierte Arbeit'>=Schwellwert_fuer_Standardisierte_Arbeit AND Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
AND(Gradient_Synchronisation>0<<%/yr>>)=TRUE,
IF(Synchronisation<10%,0.5*(Gradient_Synchronisation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

```
IF(Synchronisation<80%,2*(Gradient_Synchronisation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
    IF(Synchronisation<100%,0.5*(Gradient_Synchronisation
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
        0<<%/yr>>)),
    0<<%/yr>>))
```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Produktionsnivellierung“

```
IF((Synchronisation>=Schwellwert_fuer_Synchronisation)
    AND(Multidisziplinaer_ausgebildete_MA>=Schwellwert_fuer_multidisz_ausgeb_MA)
    AND(Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
    AND(SMED>=Schwellwert_fuer_SMED)
    AND(Gradient_Produktionsnivellierung>0<<%/yr>>)=TRUE,
    IF(Produktionsnivellierung<10%,0.5*(Gradient_Produktionsnivellierung
        + (2/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
        + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
```

---

```

IF(Produktionsnivellierung<80%,2*(Gradient_Produktionsnivellierung
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF(Produktionsnivellierung<100%,0.5*(Gradient_Produktionsnivellierung
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

```

0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)

```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Just in Time“

```

IF((Gradient_JIT>0<<%/yr>>)=TRUE,
  IF(JIT<10%,0.5*(Gradient_JIT
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_Einzelstueckfluss*Einzelstueckfluss
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (3/3)*Unterstuetzung_durch_Kanban*Kanban
    + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Autonomation*Autonomation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
  )
)

```

+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_vis\_Mgt\*Visuelles\_Mgt  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_TPM\*TPM  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_SMED\*SMED  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_PokaYoke\*PokaYoke  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Kaizen\*Kaizen),  
IF(JIT<80%,2\*(Gradient\_JIT  
+ (2/3)\*Unterstützung\_durch\_Einzelstueckfluss\*Einzelstueckfluss  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Flexibles\_Layout\*'Flexibles Layout'  
+ (2/3)\*Unterstützung\_durch\_Produktion\_im\_Fluss\*Produktion\_im\_Fluss  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Synchronisation\*Synchronisation  
+ (2/3)\*Unterstützung\_durch\_Produktionsnivellierung\*Produktionsnivellierung  
+ (3/3)\*Unterstützung\_durch\_Kanban\*Kanban  
+ (1/3)\*'Unterstützung\_durch\_flex\_MA-Einsatz\*'flexibler\_MA-Einsatz'  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Autonomation\*Autonomation  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_5S\*'5S'  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_vis\_Mgt\*Visuelles\_Mgt  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_TPM\*TPM  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_SMED\*SMED  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_PokaYoke\*PokaYoke  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Kaizen\*Kaizen),  
IF(JIT<100%,0.5\*(Gradient\_JIT  
+ (2/3)\*Unterstützung\_durch\_Einzelstueckfluss\*Einzelstueckfluss  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Flexibles\_Layout\*'Flexibles Layout'  
+ (2/3)\*Unterstützung\_durch\_Produktion\_im\_Fluss\*Produktion\_im\_Fluss  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Synchronisation\*Synchronisation  
+ (2/3)\*Unterstützung\_durch\_Produktionsnivellierung\*Produktionsnivellierung  
+ (3/3)\*Unterstützung\_durch\_Kanban\*Kanban  
+ (1/3)\*'Unterstützung\_durch\_flex\_MA-Einsatz\*'flexibler\_MA-Einsatz'  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_Autonomation\*Autonomation  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_5S\*'5S'  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_vis\_Mgt\*Visuelles\_Mgt  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_TPM\*TPM  
+ (1/3)\*Unterstützung\_durch\_SMED\*SMED

---

+ (1/3)\*Unterstuetzung\_durch\_PokaYoke\*PokaYoke  
 + (1/3)\*Unterstuetzung\_durch\_Kaizen\*Kaizen),  
 0<<%/yr>>)),  
 0<<%/yr>>)

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Kanban“

```

IF(((Synchronisation>=Schwellwert_fuer_Synchronisation)
  AND(Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
  AND(Kaizen>=Schwellwert_fuer_Kaizen)
  AND(Gradient_Kanban>0<<%/yr>>))=TRUE,
  IF(Kanban<10%,0.5*(Gradient_Kanban
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Einzelstueckfluss*Einzelstueckfluss
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Autonotation*Autonotation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
    IF(Kanban<80%,2*(Gradient_Kanban
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Einzelstueckfluss*Einzelstueckfluss
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Autonotation*Autonotation
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

```
IF(Kanban<100%,0.5*(Gradient_Kanban
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Einzelstueckfluss*Einzelstueckfluss
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktion_im_Fluss*Produktion_im_Fluss
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Produktionsnivellierung*Produktionsnivellierung
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Autonomation*Autonomation
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_SMED*SMED
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)
```

### **Programmiertext zur Berechnung der Methode „Mehrmaschinenbedienung“**

```
IF(((('Flexibles Layout'>=Schwellwert_fuer_Flexibles_Layout)
AND(Multidisziplinaer_ausgebildete_MA>=Schwellwert_fuer_multidisz_ausgeb_MA)
AND(Autonomation>=Schwellwert_fuer_Autonomation)
AND('Standardisierte Arbeit'>=Schwellwert_fuer_Standardisierte_Arbeit)
AND(Gradient_Mehrmaschinenbed>0<<%/yr>>))=TRUE,
IF(Mehrmaschinenbedienung<10%,0.5*(Gradient_Mehrmaschinenbed
+ (2/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_Autonomation*Autonomation
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_TPM*TPM
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
```



---

```

IF(Mehrmaschinenbedienung<80%,2*(Gradient_Mehrmaschinenbed
    + (2/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
    + (2/3)*Unterstützung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*'Unterstützung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (2/3)*Unterstützung_durch_Autonomation*Autonomation
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstützung_durch_TPM*TPM
    + (1/3)*Unterstützung_durch_PokaYoke*PokaYoke
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF(Mehrmaschinenbedienung<100%,0.5*(Gradient_Mehrmaschinenbed
    + (2/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
    + (2/3)*Unterstützung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*'Unterstützung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (2/3)*Unterstützung_durch_Autonomation*Autonomation
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstützung_durch_TPM*TPM
    + (1/3)*Unterstützung_durch_PokaYoke*PokaYoke
    + (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),
0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)

```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „multidisziplinär ausgebildete Mitarbeiter“

```

IF(((('Standardisierte Arbeit'>=Schwellwert_fuer_Standardisierte_Arbeit)
AND(Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
AND(Gradient_multidisz_ausgeb_MA>0<<%/yr>>))=TRUE,
    IF (Multidisziplinaer_ausgebildete_MA<10%,0.5*(Gradient_multidisz_ausgeb_MA
        + (1/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
        + (1/3)*'Unterstützung_durch_flex_MA-Einsatz*'flexibler_MA-Einsatz'
        + (1/3)*Unterstützung_durch_5S*'5S'
        + (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
        + (1/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
        + (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

```

IF(Multidisziplinaer_ausgebildete_MA<80%,2*(Gradient_multidisz_ausgeb_MA
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
+ (1/3)*'Unterstützung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_5S*'5S'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF(Multidisziplinaer_ausgebildete_MA<100%,0.5*(Gradient_multidisz_ausgeb_MA
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
+ (1/3)*'Unterstützung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_5S*'5S'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

```

0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>))

```

**Programmiertext zur Berechnung der Methode „Shojinka - flexibler Mitarbeitereinsatz“**

```

IF(((('Flexibles Layout'>=Schwellwert_fuer_Flexibles_Layout)
AND(Multidisziplinaer_ausgebildete_MA>=Schwellwert_fuer_multidisz_ausgeb_MA)
AND('Standardisierte Arbeit'>=Schwellwert_fuer_Standardisierte_Arbeit)
AND(Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
AND('Gradient_flex_MA-Einsatz'>0<<%/yr>>))=TRUE,
IF('flexibler_MA-Einsatz'<10%,0.5*('Gradient_flex_MA-Einsatz'
+ (2/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
+ (2/3)*Unterstützung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*Unterstützung_durch_5S*'5S'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstützung_durch_TPM*TPM
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

---

```

IF('flexibler_MA-Einsatz'<80%,2*('Gradient_flex_MA-Einsatz'
+ (2/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
+ (2/3)*Unterstützung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*Unterstützung_durch_5S*'5S'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstützung_durch_TPM*TPM
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF('flexibler_MA-Einsatz'<100%,0.5*('Gradient_flex_MA-Einsatz'
+ (2/3)*Unterstützung_durch_Flexibles_Layout*'Flexibles Layout'
+ (2/3)*Unterstützung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
+ (1/3)*Unterstützung_durch_5S*'5S'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstützung_durch_TPM*TPM
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),
0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)

```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Autonomation“

```

IF(((Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
AND(PokaYoke>=Schwellwert_fuer_PokaYoke)
AND(Gradient_Autonomation>0<<%/yr>>))=TRUE,
IF(Autonomation<10%,0.5*(Gradient_Autonomation
+ (2/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstützung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF(Autonomation<80%,2*(Gradient_Autonomation
+ (2/3)*Unterstützung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstützung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstützung_durch_Kaizen*Kaizen),

```

## 10 Anhang

---

```
IF(Autonomation<100%,0.5*(Gradient_Autonomation
+ (2/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_PokaYoke*PokaYoke
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
0<<%/yr>>)),
0<<%/yr>>)
```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „5S“

```
IF((Gradient_5S>0<<%/yr>>)=TRUE,
IF('5S'<10%,0.5*(Gradient_5S
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF('5S'<80%,2*(Gradient_5S
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
IF('5S'<100%,0.5*(Gradient_5S
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
+ (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
0<<%/yr>>))),
0<<%/yr>>)
```

---

## Programmiertext zur Berechnung der Methode „Standardisierung“

```
IF(('5S'>=Schwellwert_fuer_5S)
  AND(Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
  AND(Gradient_Standardisierte_Arbeit>0<<%/yr>>)=TRUE,
  IF('Standardisierte Arbeit'<10%,0.5*(Gradient_Standardisierte_Arbeit
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
    IF('Standardisierte Arbeit'<80%,2*(Gradient_Standardisierte_Arbeit
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
        IF('Standardisierte Arbeit'<100%,0.5*(Gradient_Standardisierte_Arbeit
          + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Synchronisation*Synchronisation
          + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
          + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
          + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
          + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
            0<<%/yr>>)),
    0<<%/yr>>))
```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Visualisierung“

```
IF((Gradient_vis_Mgt>0<<%/yr>>)=TRUE,
  IF(Visuelles_Mgt<10%,0.5*(Gradient_vis_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_JIT*JIT
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kanban*Kanban
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
  IF(Visuelles_Mgt<80%,2*(Gradient_vis_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_JIT*JIT
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kanban*Kanban
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
  IF(Visuelles_Mgt<100%,0.5*(Gradient_vis_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_JIT*JIT
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kanban*Kanban
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
  0<<%/yr>>))),
0<<%/yr>>)
```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „TPM“

```
IF(((('Standardisierte Arbeit'>=Schwellwert_fuer_Standardisierte_Arbeit)
  AND(Visuelles_Mgt>=Schwellwert_fuer_vis_Mgt)
  AND(Gradient_TPM>0<<%/yr>>))=TRUE,
  IF(TPM<10%,0.5*(Gradient_TPM
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
```

---

```

    IF(TPM<80%,2*(Gradient_TPM + 'Standardisierte Arbeit'*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit),
      IF(TPM<100%,0.5*(Gradient_TPM + 'Standardisierte Arbeit'*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit),
        0<<%/yr>>)),
    0<<%/yr>>)

```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „SMED“

```

IF((Gradient_SMED>0<<%/yr>>)=TRUE,
  IF(SMED<10%,0.5*(Gradient_SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
  IF(SMED<80%,2*(Gradient_SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
  IF(SMED<100%,0.5*(Gradient_SMED
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*Visuelles_Mgt
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
    0<<%/yr>>))),
0<<%/yr>>)

```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Poka Yoke“

```
IF((Kaizen>=Schwellwert_fuer_Kaizen)
  AND(Gradient_TPM>0<<%/yr>>)=TRUE,
  IF(PokaYoke<10%,0.5*(Gradient_PokaYoke
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
    IF(PokaYoke<80%,2*(Gradient_PokaYoke
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
      IF(PokaYoke<100%,0.5*(Gradient_PokaYoke
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
        + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kaizen*Kaizen),
        0<<%/yr>> )))
0<<%/yr>>)
```

### Programmiertext zur Berechnung der Methode „Kaizen

```
IF((Gradient_Kaizen>0<<%/yr>>)=TRUE,
  IF(Kaizen<10%,0.5*(Gradient_Kaizen
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kanban*Kanban
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
    + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
    + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
    + (2/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
    + (3/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*'Visuelles_Mgt'),
    IF(Kaizen<80%, 2*(Gradient_Kaizen
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_Kanban*Kanban
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_multidisz_ausgeb_MA*Multidisziplinaer_ausgebildete_MA
      + (1/3)*'Unterstuetzung_durch_flex_MA-Einsatz'*'flexibler_MA-Einsatz'
      + (1/3)*Unterstuetzung_durch_5S*'5S'
      + (2/3)*Unterstuetzung_durch_Standardisierte_Arbeit*'Standardisierte Arbeit'
      + (3/3)*Unterstuetzung_durch_vis_Mgt*'Visuelles_Mgt'),
```



---

IF(Kaizen<100%,0.5\*(Gradient\_Kaizen  
 + (1/3)\*Unterstuetzung\_durch\_Kanban\*Kanban  
 + (1/3)\*Unterstuetzung\_durch\_multidisz\_ausgeb\_MA\*Multidisziplinaer\_ausgebildete\_MA  
 + (1/3)\*'Unterstuetzung\_durch\_flex\_MA-Einsatz'\*'flexibler\_MA-Einsatz'  
 + (1/3)\*Unterstuetzung\_durch\_5S\*5S'  
 + (2/3)\*Unterstuetzung\_durch\_Standardisierte\_Arbeit\*'Standardisierte Arbeit'  
 + (3/3)\*Unterstuetzung\_durch\_vis\_Mgt\*Visuelles\_Mgt),  
 0<<%/yr>>)),  
 0<<%/yr>>)

## 10.4.2 Programmierertext für Ziele

### Programmierertext zur Berechnung der Zielgröße „Qualität“

(1/Qualitaet)\*((1/3)\*DERIVN(Einzelstueckfluss)  
 +(2/3)\*DERIVN(Multidisziplinaer\_ausgebildete\_MA)  
 +(2/3)\*DERIVN(flexibler\_MA-Einsatz)  
 +(3/3)\*DERIVN(Autonomation)  
 +(3/3)\*DERIVN(5S)  
 +(2/3)\*DERIVN(Standardisierte Arbeit)  
 +(2/3)\*DERIVN(Visuelles\_Mgt)  
 +(3/3)\*DERIVN(TPM)  
 +(2/3)\*DERIVN(SMED)  
 +(3/3)\*DERIVN(PokaYoke)  
 +(3/3)\*DERIVN(Kaizen))

### Programmierertext zur Berechnung der Zielgröße „Zeit“

-DLZ/16\*((3/3)\*DERIVN(Einzelstueckfluss)  
 +(2/3)\*DERIVN(Flexibles Layout)  
 +(2/3)\*DERIVN(Produktion\_im\_Fluss)

## 10 Anhang

---

+ (3/3) \* DERIVN(Synchronisation)  
+ (3/3) \* DERIVN(Produktionsnivellierung)  
+ (2/2) \* DERIVN(JIT)  
+ (2/3) \* DERIVN(Kanban)  
+ (2/3) \* DERIVN(Multidisziplinaer\_ausgebildete\_MA)  
+ (2/3) \* DERIVN(flexibler\_MA-Einsatz)  
+ (3/3) \* DERIVN(Autonomation)  
+ (3/3) \* DERIVN(5S)  
+ (2/3) \* DERIVN(Standardisierte Arbeit)  
+ (2/3) \* DERIVN(Visuelles\_Mgt)  
+ (2/3) \* DERIVN(TPM)  
+ (3/3) \* DERIVN(SMED)  
+ (3/3) \* DERIVN(Kaizen))

### Programmiertext zur Berechnung der Zielgröße „Kosten“

-Kosten/17 \* ((1/3) \* DERIVN(Flexibles Layout)  
+ (1/3) \* DERIVN(Produktion\_im\_Fluss)  
+ (3/3) \* DERIVN(Synchronisation)  
+ (3/3) \* DERIVN(Produktionsnivellierung)  
+ (3/3) \* DERIVN(JIT)  
+ (3/3) \* DERIVN(Kanban)  
+ (2/3) \* DERIVN(Mehrmaschinenbedienung)  
+ (2/3) \* DERIVN(Multidisziplinaer\_ausgebildete\_MA)  
+ (3/3) \* DERIVN(flexibler\_MA-Einsatz)  
+ (2/3) \* DERIVN(Autonomation)  
+ (3/3) \* DERIVN('5S')  
+ (2/3) \* DERIVN(Standardisierte Arbeit)  
+ (2/3) \* DERIVN(Visuelles\_Mgt)  
+ (2/3) \* DERIVN(TPM)  
+ (3/3) \* DERIVN(SMED)  
+ (2/3) \* DERIVN(PokaYoke)  
+ (3/3) \* DERIVN(Kaizen))